

Treball de Fi de Grau  
**Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials**

**Obtenció d'urea orgànica a partir de biomasses**  
**BIOUREA**

**MEMÒRIA**

**Autor:** Luis Alejandro Camilleri Serrano  
**Director:** Roberto Estéfano Lagarrigue  
**Tutor:** Jordi Bou Serra  
**Convocatòria:** Juny 2016



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



## Resum

En el passats dos anys, moltes plantes de biogàs de l'Estat espanyol han hagut de tancar per la reducció de la subvenció per cogeneració.

Aquest projecte el que intenta és donar solució i sortida a les plantes de tractament de purins que van haver de ser tancades aportant una millora al actual procés que és dóna en aquestes, obtenint nous productes amb un alt valor afegit. A més, el projecte solucionarà el problema mediambiental causat per la mala gestió i tractament del purí que està causant la contaminació d'amoníac del aqüífers i la contaminació de la atmosfera provocada per la volatilització d' $\text{NH}_3$  i pel  $\text{CO}_2$  resultant de la combustió del motor de biogàs.

El treball aportarà un canvi de concepció del purí, actualment vist com un residu que no es sap gestionar i passarà a ser considerat com una gran matèria prima per obtenir nous productes amb un alt valor de mercat i evitant d'aquesta manera la gran contaminació ambiental que estan causant actualment.

L'objecte d'estudi serà una planta real de biogàs de purins que tracta  $100 \text{ m}^3$  de purí juntament amb altres residus orgànics i la remodelació que s'haurà de realitzar per poder aplicar la tecnologia per la que aposta aquest projecte. Un estudi de viabilitat econòmica serà realitzat per poder demostrar que les plantes de biogàs tancades podran ser obertes de nou i obtindran més beneficis que abans de la retallada de la subvenció de l'Estat.

Aquest projecte demostrarà que les plantes de biogàs poden tornar a ser rendibles i la contaminació que està rebent el medi ambient també podrà ser evitada gràcies a la tecnologia que s'explica a continuació. Es realitzaran estudis econòmics per demostrar l'increment d'ingressos i beneficis que aportarà la remodelació.

El procés per desenvolupar aquest projecte està basat en la patent del Sr. Roberto Estéfano que ha cedit per la realització d'aquest projecte, amb nº de sol·licitud de la patent d'invenió espanyola 201530983, i nº de patent ES 2 573 717 A1, anomenada "*Procedimiento para la producción de urea orgánica así como urea orgánica y AUS32 obtenidas por este procedimiento*", que dóna exclusivitat a l'extracció industrial d'amoníac i urea a partir de biomassa animal i vegetal.

# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓ</b>	<b>5</b>
1.1. Descripció de la problemàtica a resoldre .....	5
1.2. Objectius del projecte i rellevància en el seu àmbit d'aplicació .....	7
1.3. Abast del projecte .....	8
1.4. Novetats del projecte .....	9
1.4.1. Novetats del procés .....	9
1.4.2. Novetats de producte .....	9
1.4.3. Novetats en el medi ambient .....	10
1.5. Usuaris beneficiaris del projecte.....	10
<b>2. DESCRIPCIÓ DE L'ESTAT D'ART TÈCNIC</b>	<b>11</b>
2.1. Actuals fonts d'urea (comercials) per l'automoció i fertilitzants .....	11
2.2. Usos actuals de la urea .....	11
2.3. Producció d'urea .....	12
2.4. Les plantes de biogàs a Catalunya .....	16
2.5. Legislació i normatives .....	18
<b>3. PLANIFICACIÓ I PROGRAMACIÓ</b>	<b>20</b>
<b>4. ESTUDI DE LES MATÈRIES PRIMES</b>	<b>22</b>
4.1. El purí .....	22
4.1.1. El purí porcí .....	23
4.1.2. El purí boví .....	25
4.2. Altres residus orgànics .....	27
<b>5. REMODELACIÓ DE LES PLANTES DE BIOGÀS ACTUALS</b>	<b>28</b>
5.1. Estat actual de les plantes de biogàs.....	28
5.2. Unitats bàsiques per l'obtenció d'urea .....	31
5.2.1. Separador Sòlid - Líquid .....	31
5.2.2. Compostador.....	34
5.2.3. Separador d'amoníac.....	36
5.2.4. Adaptació dels gasos d'escapament.....	37
5.2.5. Sintetitzador d'urea .....	38

5.3.	Diagrama de blocs d'una planta remodelada.....	39
5.4.	Càlcul de l'obtenció de productes.....	40
5.4.1.	Càlcul de diòxid de carboni per la combustió de biogàs.....	40
5.4.2.	Càlcul d'amoníac de la part líquida.....	41
5.4.3.	Càlcul de l'obtenció d'urea .....	41
5.4.4.	Càlculs de dipòsits.....	42
5.5.	Funcionament de la nova planta .....	43
<b>6.</b>	<b>ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA .....</b>	<b>46</b>
6.1.	Beneficis directes .....	46
6.2.	Beneficis indirectes i impacte ambiental.....	48
6.3.	Estudi de viabilitat de la inversió.....	49
6.4.	Cost de preparació del projecte.....	52
<b>7.</b>	<b>ESTUDI DE MERCAT DELS PRODUCTES .....</b>	<b>53</b>
7.1.	Mercat de l'AdBlue® .....	54
7.2.	Mercat del fertilitzant .....	55
<b>8.</b>	<b>IMPACTE DEL PROJECTE EN LA INNOVACIÓ I EL CREIXEMENT</b>	<b>56</b>
	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>57</b>
	<b>AGRAÏMENTS .....</b>	<b>59</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>60</b>



# 1. Introducció

El procés de la investigació d'aquest projecte, denominat BIOUREA, es focalitza en l'àmbit de la gestió de recursos centrant-lo en la gestió de purins i biomassa, com a recursos per a l'obtenció d'altres subproductes, en especial, urea de base orgànica. Catalunya és pobra en recursos naturals, així que cal aprofitar bé els que té.

L'estudi contempla la valorització dels purins, gestió molt necessària especialment en el moment actual degut a que la gran majoria de plantes de biogàs han deixat de ser viables i per tant, s'han deixat de tractar els residus de la majoria de porcs a Catalunya. A més a més, s'emmarca dins d'un àmbit emergent, l'increment de demanda en el sector de la urea. El projecte s'anticipa a noves necessitats de mercat, per a fer front a aquesta demanda creixent, a partir de la col·laboració d'agents d'àmbits diversos, com són el sector ramader i el sector agrícola.

El treball es basa en el desenvolupament d'un procés d'obtenció d'urea mitjançant la reacció d'amoni i diòxid de carboni obtinguts de dos processos independents: una combustió de biogàs a través de la qual s'obté diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) i un procés mitjançant el qual s'obté amoníac ( $\text{NH}_3$ ).

## 1.1. Descripció de la problemàtica a resoldre

A partir de la detecció d'aquestes necessitats neix el projecte BIOUREA, com a resposta per intentar resoldre els problemes presentats. Per una banda, la necessitat d'Europa d'obtenir fonts sostenibles d'urea, ja que fins el moment, la seva síntesi química és d'un elevat cost econòmic i energètic. I per altra banda, la necessitat de trobar una solució sostenible i respectuosa amb el medi ambient pel tractament de purins així com donar sortida a les actuals plantes de biogàs que no resulten rendibles.

Analitzant més detalladament ambdues problemàtiques, primerament cal destacar l'equilibri entre l'oferta i la demanda actual d'urea a nivell europeu. Actualment, hi ha productes basats en urea que tenen un mercat creixent com són els productes d'automoció destinats a inhibir les emissions d'òxid nitrós, comercialment anomenats AdBlue®, un lubricant que té una demanda cada vegada més elevada degut a les legislacions europees que regulen les emissions dels vehicles. Aquests productes requereixen urea d'elevada qualitat, una qualitat

que moltes vegades no s'aconsegueix amb les fonts actuals d'aquest producte i que són, majoritàriament, fonts químiques poc sostenibles. La urea utilitzada per aquests productes rep el nom d'urea grau tècnic.

També cal destacar la utilització del nitrogen en la urea com a fertilitzant bàsic conjuntament amb el potassi i el fòsfor. Tots tres components tenen una importància vital en tots els països de la Comissió Econòmica Europea (CEE) i, trobar fonts d'urea alternatives resultaria molt interessant per disminuir la dependència de l'obtenció d'aquest fertilitzant a partir dels hidrocarburs.

Per altra banda, la utilització dels purins i altres fonts de biomassa animal i vegetal com a matèria prima per a l'obtenció de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  i l'obtenció d'urea final permetrà també donar una sortida a les plantes de tractaments de purins.

Actualment les plantes d'obtenció de biogàs resulten poc rendibles i estan desapareixent, degut a les retallades dels ingressos en un 40% de les instal·lacions de producció d'electricitat a partir de fonts d'energia renovables, cogeneració i residus que es van aprovar cap a meitats de 2014. Segons l'empresa que gestiona la planta de Miralcamp, una de les plantes catalanes més grans, aquesta retallada suposava una pèrdua de 20.000 euros diaris.

Cal destacar que la decisió del Govern Espanyol de 2013 d'acabar amb la prima elèctrica per cogeneració ha afectat, no solament al tancament de la majoria de plantes, sinó que també ha implicat la destrucció de 4.500 llocs de treball directes i indirectes relacionats amb el sector. Malgrat aquest fet, cal remarcar que moltes d'aquestes plantes de biogàs havien sigut construïdes a consciència únicament per afavorir-se d'aquesta subvenció. Aquestes utilitzaven gas natural de la xarxa, el mesclaven amb biogàs extret de purins en una petita part i realitzaven la combustió d'aquests gasos per poder obtenir energia elèctrica. L'ambició de guanyar diners amb aquesta subvenció els hi ha acabat passant factura i han hagut d'acabar tancant moltes d'aquestes plantes de biogàs. En canvi, les petites i mitjanes segueixen funcionant, ja que aquestes sí que s'utilitzaven i s'utilitzen per a tractar els purins i intentar evitar la contaminació del medi ambient.

La revalorització d'aquestes plantes, posant en marxa aquesta nova aplicació, podria donar sortida a aquestes plantes ja construïdes i recuperar-ne la rendibilitat i la majoria d'aquests llocs de treball perduts per les retallades. Tot això sumat al fet que la utilització dels purins

en el procés seria una via de valorització sostenible i d'alt valor afegit per aquest efluent ramader.

La cabanya porcina estable actual a Catalunya es d'aproximadament 7 milions de caps de bestiar, però l'engreix del porcs té una duració de 5 mesos, això implica que es maten a prop de 14 milions de caps a l'any que estan produint constantment purins. Els purins porcins generats a Catalunya s'apliquen majoritàriament (el 96,88%) directament al sòl com a fertilitzant, sense pràcticament cap tipus de tractament. El restant (3,12%) són tractats abans de ser aplicats al sòl (Teira, 2008). Durant l'emmagatzematge i aplicació del purí al terra es produeixen emissions d'amoníac i altres gasos, entre els quals s'han de mencionar els gasos d'efecte hivernacle (GEI). Aproximadament el 93% de les emissions globals d'amoníac s'atribueixen de l'agricultura, principalment per l'ús de fertilitzants i fems procedents d'animals (European Environment Agency, 2015).

## **1.2. Objectius del projecte i rellevància en el seu àmbit d'aplicació**

L'objectiu principal d'aquest projecte és la recerca pel desenvolupament d'una tecnologia, basada en una planta de biogàs actual, que permeti l'obtenció de les matèries primes per produir urea a partir de dos processos independents, (1) obtenció de  $\text{CO}_2$  a partir de la combustió del biogàs obtingut en el procés de digestió anaeròbia; (2) obtenció d' $\text{NH}_3$  a través d'un procés d'evaporació o *stripping* per separar l'aigua amoniacal provinent del separador sòlid – líquid.

L'altre objectiu del projecte BIOUREA és oferir solucions tecnològiques integrades que permetin garantir la viabilitat de les plantes de biogàs, proporcionant una alternativa a la via energètica, com és la possibilitat d'obtenir productes com la urea, producte que té una gran demanda i un gran àmbit d'aplicació en el sector d'automoció com en el de fertilitzants, i abastir el mercat peninsular d'urea reduint la dependència de les importacions així com de les fonts d'hidrocarburs.

Les sis grans plantes de tractament de purins catalanes (una a Alcarràs (Segrià), dues a Juneda (Garrigues), una a Miralcamp (Pla d'Urgell), una a l'Esquirol (Santa Maria de Corcó) i una a les Masies de Voltregà (Osona)) tractaven 675.000 metres cúbics de 480 explotacions de porcí, però van aturar l'activitat a 2014, perquè es van rebaixar les primes per



cogeneració i les va fer econòmicament inviables. Es van construir fa més de 14 anys, en àrees on l'elevada quantitat de bestiar feia difícil la gestió dels purins porcins, com una solució en aquell moment per tal de donar temps a que es desenvolupessin altres tecnologies. La complexitat del model presentat per l'Ordre Ministerial, de 26 de desembre de 2013, de retribució d'energies renovables, fa preveure que el funcionament futur de les plantes de biogàs no sigui viable i encara menys per a les plantes noves.

En l'última dècada s'ha incrementat el preu dels fertilitzants, en especial degut a l'increment de la demanda de matèries com la urea, que abans només tenien aplicació en l'àmbit de fertilitzants. Actualment, la urea té una demanda creixent en el sector de l'automoció, que s'utilitza per a reduir les emissions contaminants de motors dièsel en vehicles de gran tonatge, en compliment de les diverses Normatives d'Emissions Europees. La urea permet reduir els compostos nitrosos de la combustió, formant nitrogen pur i aigua. Es comercialitza com un producte anomenat AUS32, sota la marca registrada AdBlue<sup>®</sup>, solució d'urea al 32,5% en aigua, i s'aplica en un dipòsit independent, amb un consum d'AdBlue<sup>®</sup> d'un 5% sobre el del gasoil en un sistema SCR (*Selective Catalytic Reduction*). En la actualitat, els grans distribuïdors d'adobs agrícoles, distribueixen també la urea en el sector de l'automoció.

Les importacions d'urea es van disparar el 2013, sent Egipte el principal país proveïdor d'urea a Espanya. Degut a aquest increment d'importacions, aquest projecte intentarà donar servei a tot el mercat català i espanyol.

### 1.3. Abast del projecte

Per tal d'assolir l'objectiu general del projecte es proposen els objectius tecnològics parcials següents:

- 1.- Determinar noves biomasses per tal de buscar les mesclures més adequades pel procés de digestió anaeròbia.
- 2.- Investigar un procés que permeti separar l'amoniac de la part líquida del digestat.
- 3.- Investigar un procés per a la recuperació dels gasos d'escapament de la combustió de biogàs.
- 4.- Determinar la possibilitat d'obtenir urea a partir de biomassa.

- 5.- Remodelar una planta actual de biogàs amb l'equipament necessari per produir urea.
- 6.- Comparar els beneficis actuals de les plantes de biogàs amb el benefici que obtindrien al aplicar la nova tecnologia.
- 7.- Estudiar el mercat del nous productes obtinguts del procés.

## **1.4. Novetats del projecte**

### **1.4.1. Novetats del procés**

Una de les principals novetats del projecte BIOUREA és que pretén donar una solució innovadora a les plantes de tractaments de purins actuals de Catalunya que actualment no resulten prou rendibles, econòmica i mediambientalment, al mateix temps que dona una nova via de valorització alternativa als purins i a altres biomasses d'origen animal i vegetal per a l'obtenció d'urea orgànica. El que es pretén és que el purí deixi de ser un residu i es transformi en una matèria prima d'un producte que té una demanda creixent.

En l'actualitat, l'objectiu principal de les plantes de digestió anaeròbia de purins és la generació de biogàs, i aquestes estan cada vegada més en desús. Actualment el biogàs s'utilitza per conversió energètica. Aquest projecte busca utilitzar el biogàs com a font de CO<sub>2</sub> per a la seva conversió química cap a urea. A més a més, en el marc del projecte s'optimitzarà el procés de digestió anaeròbia per a obtenir digestats amb elevat contingut en amoni que també serà utilitzat com a matèria prima per a convertir-lo en urea.

Actualment la urea se sintetitza químicament, mentre que en aquest projecte s'utilitzaran purins i altres fonts de biomassa per a produir urea orgànica mitjançant processos biotecnològics, reduint en gran mesura a la dependència actual de la disponibilitat d'hidrocarburs. Es proposa obtenir urea orgànica a partir de l'amoníac de les biomasses juntament amb el diòxid de carboni reciclat dels gasos d'escapament d'una caldera de biogàs de cicle combinat amb biomassa vegetal.

### **1.4.2. Novetats de producte**

Amb aquest projecte s'intentarà aconseguir urea orgànica, en comparació de la mineral que actualment es comercialitza. Aquesta urea orgànica produïda serà la matèria primera per al producte AdBlue® i per a fertilitzants, que són els dos productes del projecte però també

podria ser utilitzada per a altres aplicacions com poden ser la producció de pinsos per a animals remugants, en la indústria cosmètica, química i plàstica (adhesius, resines, tints, etc.), entre d'altres.

L'aigua també serà l'altre producte de la conversió de l'amoni en urea, la qual serà tractada mitjançant una tecnologia basada en filtres orgànics reciclables, per el seu ús com a aigua destil·lada, matèria primera per la fabricació de l'AUS32, o com a aigua per regar els camps.

### **1.4.3. Novetats en el medi ambient**

El projecte proposa un ús alternatiu per als purins i les plantes de biogàs, que suposa a la vegada una millora mediambiental. Per una banda, el projecte contribuirà a disminuir les emissions de CO<sub>2</sub> produïdes per els gasos d'escapament de la combustió de biogàs, ja que el propi CO<sub>2</sub> generat es matèria primera del sistema. Per altra banda, el projecte contribuirà també a la disminució de la contaminació per nitrogen (amoni) dels sòls, desenvolupant una solució sostenible per la producció de productes fertilitzants a la vegada que s'utilitza una de les principals causes contaminants, els purins, com a matèria primera. També, el producte contribueix a una altra millora mediambiental, que és la de donar una via de valorització a un residu forestal important com és la pinassa.

## **1.5. Usuaris beneficiaris del projecte**

Els principals beneficiaris i agents implicats en el projecte són els següents: el sector agrícola, ramader, les plantes de biogàs i el medi de les zones vulnerables. El més beneficiat serà el sector ramader, perquè podrà augmentar la quantitat de caps de bestiar degut a que amb el nou projecte, deixarà d'emetre en quasi la seva totalitat els gasos d'efecte hivernacle que generen els purins. Els propietaris d'una planta de biogàs, amb una petita inversió, obtindran nous beneficis i milloraran la rendibilitat de la seva instal·lació gràcies a la obtenció de nous subproductes de valor afegit.

Respecte als usuaris finals del projecte són els consumidors de productes d'automoció (professionals i particulars), així com els fabricants de fertilitzants que utilitzen urea, els que consumeixen compost com un fertilitzant orgànic i d'altres productors que necessiten urea.

## **2. Descripció de l'estat d'art tècnic**

### **2.1. Actuals fonts d'urea (comercials) per l'automoció i fertilitzants**

La urea es produeix sintèticament a partir d'amoníac ( $\text{NH}_3$ ) i diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ). Es produeixen grans quantitats de  $\text{CO}_2$  durant el procés de fabricació d'amoníac com un subproducte a partir d'hidrocarburs (predominantment gas natural i derivats del petroli), o ocasionalment a partir de carbó. Les plantes de producció d'urea es situen gairebé sempre en les proximitats de les fàbriques d'amoníac. Tot i que el gas natural és el material més econòmic i disponible per la producció d'amoníac, les plantes que el fan servir no produeixen prou diòxid de carboni com cal per convertir la totalitat d'amoníac en urea. En els últims anys les noves tecnologies, com ara el procés de KM-CDR, s'han desenvolupat per recuperar el diòxid de carboni addicional dels gasos d'escapament de la combustió produïts en la planta de síntesi d'amoníac, permetent una major producció d'aquest i també reduint les emissions de gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera.

La capacitat de producció d'urea en el sud d'Europa cobreix únicament el 21,5% del mercat, mentre que en el nord la capacitat de producció és superior en un 50% al mercat de la zona. El mercat total europeu és un 20% superior a la capacitat de producció instal·lada. Tota la capacitat de producció d'urea d'Europa està basada en el gas natural, provinent dels hidrocarburs, en el nord i l'est és importat de Rússia i en el sud és importat del Nord d'Àfrica (Pardo, 2004).

### **2.2. Usos actuals de la urea**

La urea s'utilitza actualment com a matèria primera per l'elaboració de pinsos animals, fertilitzants, cremes humectants i com a reactor químic per la degradació de l'òxid nítrós en els gasos produïts per motors de combustió interna (AdBlue®). La qualitat de la urea obtinguda, que es mesura amb el grau de biuret o de puresa, determinarà el seu futur ús. Per exemple, la urea més pura s'utilitza com a fertilitzant foliar. En el cas de l'AdBlue®, el tipus d'urea haurà de ser d'alta qualitat i no qualsevol tipus podrà ser utilitzada per a l'obtenció d'AUS32.

L'AdBlue® és una solució aquosa d'urea no tòxica que permet reduir fins un 90% els òxids de nitrogen continguts en els gasos d'escapament dels vehicles dièsel. La reducció catalítica selectiva (SCR o DEF, *Diesel Exhaust Fluid*, nomenclatura utilitzada als EEUU) utilitza AdBlue® per convertir els òxids de nitrogen en dos components innocus: nitrogen i aigua.

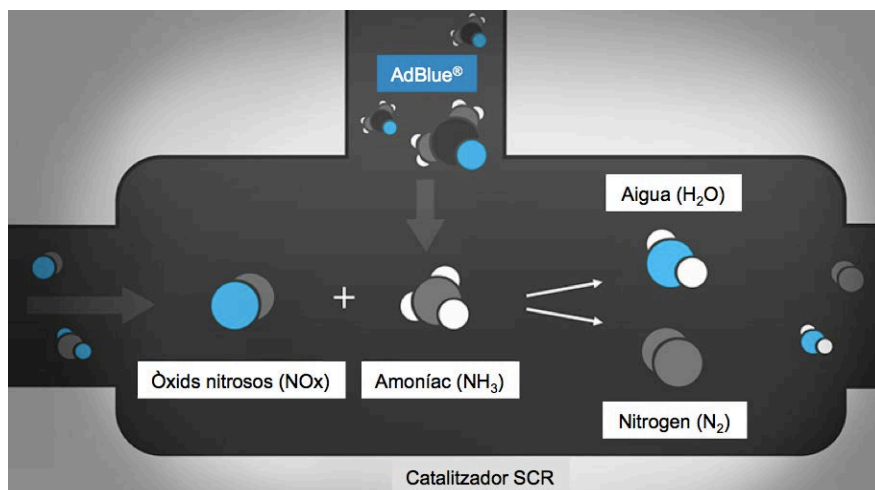


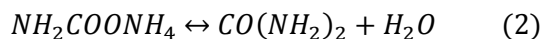
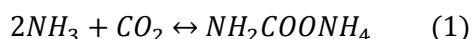
Figura 1. Modificació dels gasos d'escapament produïda per l'AdBlue®

L'ús de fertilitzants d'urea i fosfat permet que les plantacions siguin més fortes i superin, amb l'ajut dels productes agroquímics necessaris, les plagues que puguin afectar-les fins la maduració dels fruits. La virtut que té la urea és fixar el nitrogen dins la terra perquè els conreus creixin amb major facilitat.

La utilització de la urea en els sistemes que operen amb SCR (Reducció Catalítica Selectiva) com a component principal en el AdBlue® (urea i aigua destil·lada) possibilita una disminució en les emissions generades pels gasos dels motors de combustió interna.

## 2.3. Producció d'urea

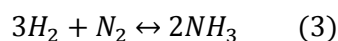
La síntesi comercial d'urea consisteix en la combinació d'amoníac i diòxid de carboni a alta pressió per formar carbamat d'amoni que, posteriorment, es deshidrata per aplicació de calor per formar urea i aigua (European Fertilizer Manufacturers Association, 2000).



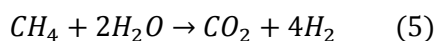
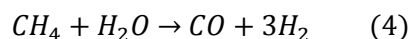
La reacció 1 és ràpida i exotèrmica mentre que la reacció 2 és més lenta i endotèrmica. El problema del procés és que a la segona reacció, es forma un producte anomenat biuret, que resulta de la unió de dues molècules d'urea amb la pèrdua d'una molècula d'amoniac. Aquest producte és indesitjable per la seva toxicitat i perquè produeix que l'injector d'AdBlue<sup>®</sup> deixi de funcionar immediatament. Per aquests motius, és necessari l'eliminació de biuret. El tipus d'urea utilitzada per AdBlue<sup>®</sup> s'anomena urea tècnica, ja que només pot contenir un 0,4% de biuret en el seu contingut perquè l'injector funcioni correctament.

La primera reacció és molt més ràpida que la segona, fent que el carbamat intermedi s'acumuli. A més, la primera reacció no es verifica per complet, de manera que també queden amoniac i diòxid de carboni lliures, que poden interferir en la reacció. La conversió a carbamat augmenta amb l'increment de temperatura i la proporció  $\text{NH}_3/\text{CO}_2$ , i disminueix amb l'augment de la relació  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ . La via més simple per descompondre el carbamat en  $\text{CO}_2$  i  $\text{NH}_3$  és la despressurització i l'escalfament del reactor. La solució d'urea resultant de les etapes de síntesi/reciclatge es concentra en una massa d'urea fosa per a la producció d'urea sòlida en forma granular.

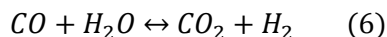
Actualment, els dos components necessaris per a la producció d'urea, el  $\text{CO}_2$  i  $\text{NH}_3$ , s'obtenen pel procés de reformat amb vapor, el mètode més emprat mundialment per a produir amoniac (veure Figura 2). Es parteix del gas natural, provinent d'hidrocarburs, amb un 90% de metà per poder obtenir l' $\text{H}_2$  suficient per la síntesi d' $\text{NH}_3$ . El procés mitjançant el qual s'obté l'amoniac és el procés *Haber-Bosch*. El procés consisteix en la reacció directa entre el nitrogen i l'hidrogen en estat gasos en presència d'un catalitzador a base de ferro:



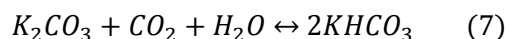
El gas natural provinent dels hidrocarburs primer passa per un procés de dessulfuració, on s'eliminen les traces de sofre que actuen reduint la vida del catalitzador. Seguidament, el gas natural passa pel procés de reformat amb vapor d'aigua, on es produeix la ruptura de les molècules de  $\text{CH}_4$ . El gas natural es mescla amb vapor en una proporció 1:3,3 (gas natural : vapor d'aigua) i es condueix pel procés de reformat a través d'uns tubs on succeeixen les següents reaccions:



Els gasos procedents del reformat contenen grans quantitats de monòxid de carboni, que suposen una gran pèrdua de matèria prima en l'obtenció d'hidrogen, per tant, es converteixen en hidrogen gas mitjançant vapor d'aigua. Aquest procés de purificació només representa l'1% del consum total energètic, i significa una gran millora en el rendiment del procés.



L'anhidrid carbònic, el diòxid de carboni procedent per eliminació d'aigua, ha de ser eliminat abans de poder realitzar l'etapa de compressió. El  $CO_2$  s'elimina mitjançant l'absorció amb carbonat potàssic a contracorrent, de la manera següent:



El monòxid de carboni restant també resulta perillós pel catalitzador del reactor de síntesi, per tant, també ha de ser eliminat. En l'etapa de metanització es dona la següent reacció:



Finalment, el gas es comprimeix a una pressió de 200 bar i es porta al reactor on es produeix la reacció final per a produir amoníac on es dona la reacció directa entre el nitrogen i l'hidrogen en estat gasós (reacció 3).

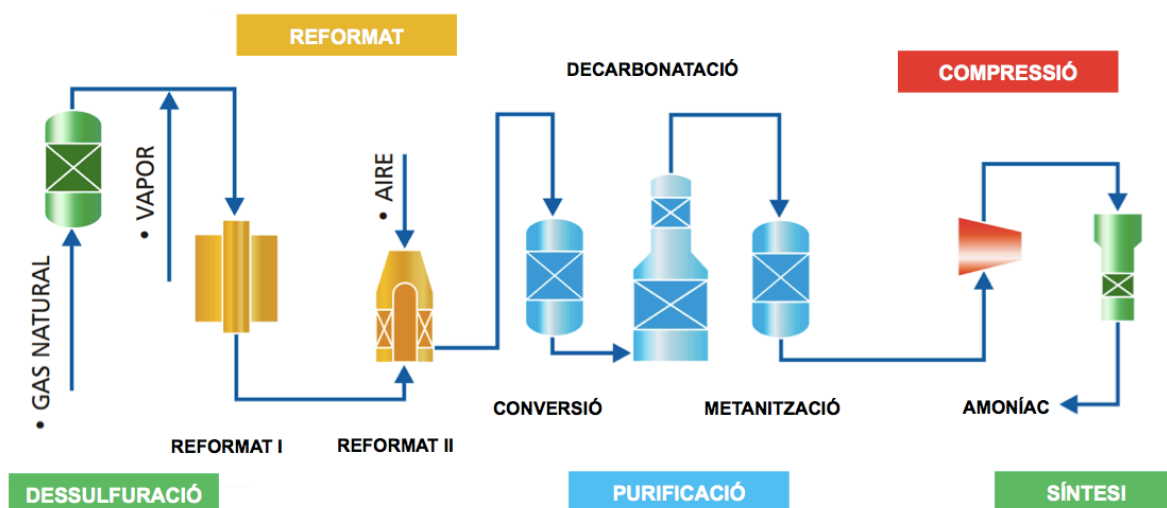


Figura 2. Procés de producció d'amoníac a partir del gas natural a escala industrial

Respecte a la producció d'urea, en l'actualitat existeixen diversos mètodes de producció, essent els més coneguts el procés *Stami-Carbon*, l'*Acess* i el *Snamprogetti*.

La reacció de síntesis d'urea (veure Figura 3) es realitza a 200 bar i a 190°C en un reactor, anomenat Torre de Prilling construït en un acer inoxidable especial. La reacció es produeix entre l'amoníac, el diòxid de carboni i la solució reciclada de carbamat, provinent de l'etapa d'absorció. Abans d'ingressar al reactor, el CO<sub>2</sub> i l'NH<sub>3</sub> són comprimits en un compressor a 200 bar i 145 bar, respectivament.

L'amoníac i el diòxid de carboni reaccionen per formar el carbamat, que seguidament es deshidrata per aconseguir urea i aigua. No tot el carbamat es transforma en urea i aigua, sinó que només el 70% d'aquest carbamat s'hi es transforma. El restant, ha de reciclar-se permanentment i de forma contínua al reactor per aconseguir una conversió total.

Com que el carbamat és un producte altament corrosiu i molt difícil de tractar, es degrada novament a amoníac i CO<sub>2</sub> per a tornar-lo novament a transformar. Aquesta reacció es pot aconseguir de dues formes: baixant la temperatura i la pressió o mitjançant la tecnologia d'*stripping* de l'amoníac, desplaçant la reacció cap als productes.

Finalment, la producció d'urea es realitza en un reactor vertical, que opera a 190°C i a 150 bar de pressió, amb un temps de residència d'aproximadament 45 minuts. Aquesta operació combina la formació de carbamat a la seva part inferior i la descomposició d'aquest en urea de forma molt més lenta i endotèrmica.

Un dels grans problemes que sorgeix en la producció d'urea és la formació de biuret. Aquest es forma quan dues molècules d'urea s'uneixen alliberant una molècula d'amoníac. Es tracta d'una substància extremadament tòxica i ha de ser evitada en el major grau possible. Per tal d'evitar la creació de biuret, s'utilitza un excés d'amoníac en la síntesi final de la urea.



La urea necessària per produir AdBlue<sup>®</sup> haurà de ser de la major qualitat possible, anomenada urea tècnica. Un elevat grau de biuret produeix un mal funcionament o ruptura en el pulveritzador del sistema SCR d'injecció d'AUS32.



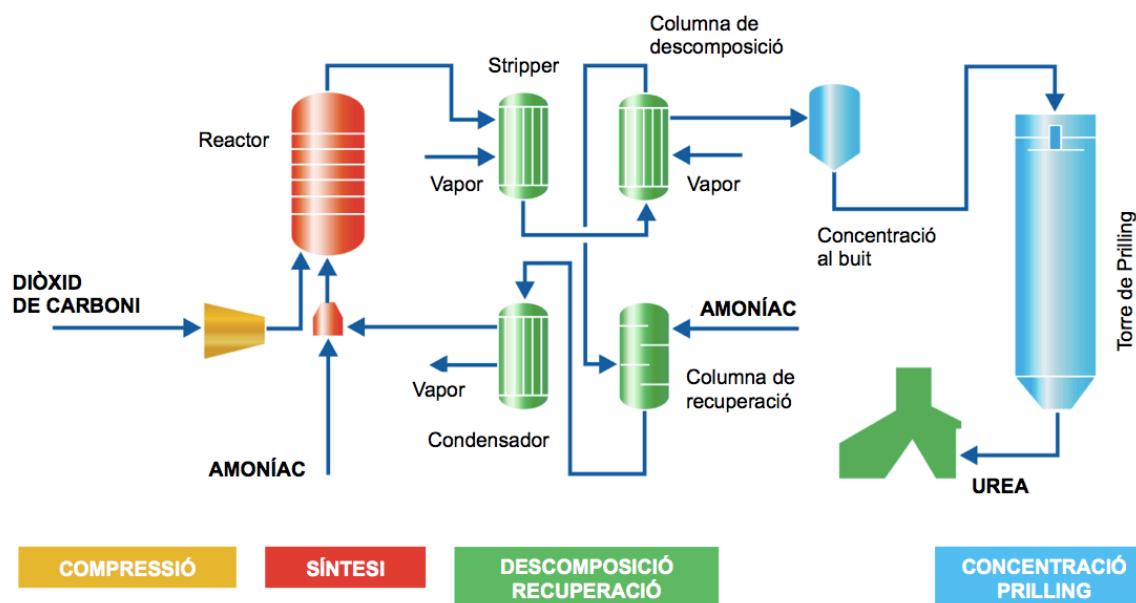


Figura 3. Producció d'urea a escala industrial

## 2.4. Les plantes de biogàs a Catalunya

Una planta de biogàs és una instal·lació on es s'ajunten els purins d'animals, ja siguin porcs, vaques, etc., amb matèria orgànica i es realitza el procés de codigestió anaeròbica. La digestió o codigestió, depenent del número de si la planta disposa de digestors primari i secundari, es basa en ajuntar diferents substrats, obtenir una producció de biogàs òptima i un digerit ric en nutrients per ser aplicat al sòl. El biogàs obtingut del digestor o digestors és cremat per un motor de combustió i el resultat final és energia elèctrica i tèrmica d'origen renovable.

A Catalunya existeixen 13 plantes de tractament de purins. L'energia generada serveix per l'autoconsum de les instal·lacions de la planta i per mantenir el bestiar a una temperatura adequada en èpoques de fred. L'energia restant és ven a la xarxa i d'aquí és d'on obtenen els beneficis.

A continuació es mostra un esquema simplificat de tot l'equipament necessari per poder realitzar el tractament de purins i altres residus i es pot observar de forma gràfica com obtenen l'energia (Campos *et al.*, 2004).

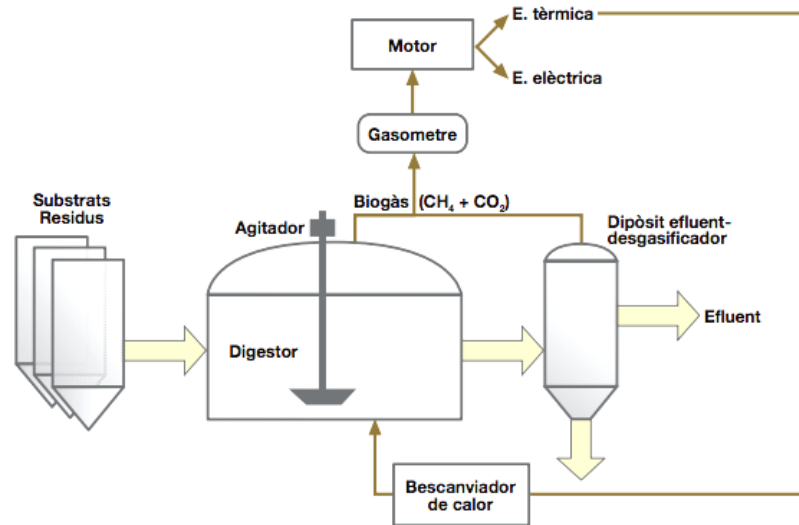


Figura 4. Esquema d'una instal·lació de digestió anaeròbia amb aprofitament del biogàs

Els residus són dipositats en unes basses on romanen fins que entren en el digestor per realitzar el procés de digestió anaeròbia. Durant l'emmagatzematge es produeix una reducció de patògens i un cert grau de mineralització, però es produeixen pèrdues per volatilització d'amoniac.

La digestió anaeròbia, també coneguda com biometanització o producció de biogàs, és un procés biològic que té lloc de forma natural en el medi ambient. La tecnologia d'aquesta digestió es basa en imitar la natura i reproduir aquest procés en digestors a escala industrial. D'aquest procés s'obté un gas combustible, anomenat biogàs pel fet que es produeix mitjançant un procés biològic, que conté principalment metà (60-70%) i diòxid de carboni (30-40%). L'energia que s'obté del biogàs és aproximadament un 60-70% de la que s'obtindria del gas natural.

El biogàs es pot aprofitar de diverses maneres, però la que dóna un rendiment més elevat és mitjançant la tecnologia de cogeneració, que permet produir energia elèctrica i alhora aigua calenta (energia tèrmica). Aquesta aigua calenta es pot utilitzar per a cobrir les necessitats de les instal·lacions, mentre que l'electricitat es pot fer servir per consum propi o per vendre-la a la xarxa.

Un cop realitzada aquesta digestió, el resultat és el digestat, un producte amb un contingut inferior de matèria seca i una major proporció de nitrogen mineralitzat que els fems sense passar pel procés de digestió. Aquest producte es pot separar en dues fraccions diferents, en

sòlid i líquid. La fracció sòlida se li pot aplicar un procés de compostatge, que consisteix en la descomposició biològica anaeròbia i l'estabilització dels substrats orgànics, de la qual s'obté un producte que pot ser aplicat al sòl beneficiosament. En canvi, la fracció líquida té un contingut amoniacal molt elevat que, en molts casos, no és tractada i abocada directament al sòl terra o al riu propers a les plantes. Aquest fet provoca les altes concentracions de nitrogen en zones vulnerables que empitjoren la qualitat del aire, el sòl i l'aigua, amb importants efectes sobre la salut de tot l'ecosistema. En l'aigua estimula el creixement de les algues, creant grans zones mortes i provocant un risc per la biodiversitat.

## 2.5. Legislació i normatives

Com a conseqüència de la pèrdua de la qualitat de l'aigua per a consum com s'indica a la pròpia normativa 91/676/CEE del Consell, de 12 de desembre de 1991, ha anat apareixent aquesta llei relacionada amb aquesta pèrdua de qualitat causada principalment per les altes quantitats de nitrogen, amb incidència directa o indirectament sobre la gestió de les dejeccions ramaderes.

La normativa europea generada ha obligat i implementat molta normativa estatal i autonòmica, de les que destaquen:

1.- La Directiva 91/676/CEE (Directiva dels nitrats), de 12 de desembre de 1991, relativa a la protecció de les aigües vers la contaminació per nitrats procedents de font agràries, que fixa l'objectiu de descontaminar les aigües que sobrepassen el líndar de potabilitat de 50 mg  $\text{NO}_3/\text{l}$ . Estableix el límit anual de nitrogen en forma de dejeccions ramaderes en 170 kg/ha.

2.- La Directiva 96/61/CE del Consell de 24 de setembre de 1996, sobre el control i prevenció de la contaminació (Directiva IPPC), que condiciona l'activitat econòmica de les garanties de compliment ambiental de les activitats. Només s'aplica a les explotacions afectades pel l'Annex I de la Llei 3/1998 les quals són responsables de la generació del 30% del nitrogen present en els purins de porc generats a Catalunya.

3.- Una altra normativa sectorial, com per exemple el Reial Decret 324/2000, de 3 de març de 2000, en el que s'estableixen normes bàsiques d'ordenació de les explotacions porcínes publicat en el BOE 58 del 8 de març de 2000, de gestió de les dejeccions ramaderes del Decret 220/2001, d'1 d'agost de 2001, que tenen en consideració altres aspectes relacionats amb la gestió agrícola dels purins, com la identificació dels animals, el registre estatal de

explotacions, etc.

Existeixen altres normatives europees que també incideixen en la gestió dels purins, les més destacades són:

- 1.- La Directiva 2001/81/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 23 d'octubre de 2001, sobre els sostres admissibles d'emissions de determinats contaminants atmosfèrics (Directiva de sostres admissibles).
- 2.- La Directiva 86/278/CEE del Consell, de 12 de juny de 1986, relativa a la protecció del medi ambient i, en particular, dels sòls, en la utilització dels llots de depuradores en l'agricultura (Directiva de llots).
- 3.- La Directiva 99/31/CE del Consell, de 26 de abril de 1999, respecte a l'abocament del residus (Directiva dels abocaments).
- 4.- La Directiva 98/58/CE del Consell, de 20 de juliol de 1998, relativa a la protecció dels animals en les explotacions ramaderes (Directiva del benestar animal).
- 5.- La Directiva 2000/60/CE del Parlament Europeu i el Consell, de 23 d'octubre de 2000, per la qual s'estableix un marc comunitari d'actuació en l'àmbit de la política d'aigües (Directiva del marc de aigües).

### 3. Planificació i programació

Des de l'inici del projecte fins el final de l'estudi transcorreran 16 setmanes, més unes dues setmanes destinades a l'elecció de tema, el registre i la matrícula per poder realitzar el Treball de Fi de Grau. En aquest temps, apareixeran possibles imprevistos que hauran de ser abordats, modificant la planificació si fos necessari.

La primera fase del projecte serà on es definiran els objectius i l'estat de l'art actual: el descobriment de la problemàtica, el seu perquè, la possibilitat de resoldre-la aplicant la solució que es proposa. Aquesta primera fase tindrà una duració aproximada de dues setmanes on s'analitzarà tots els documents, articles i publicacions relacionats amb la temàtica del projecte.

Un cop estudiada la problemàtica i l'estat actual del que envolta el projecte, es realitzarà una segona fase on s'estudiaran les matèries primeres necessàries per poder arribar a l'obtenció d'urea. La segona fase tindrà una duració de dues setmanes on també s'analitzaran les diferents biomasses disponibles i la seva actual utilització en el procés de tractaments de purins.

En la tercera part del projecte s'estudiarà la remodelació i equipament necessaris per poder transformar una planta de biogàs en una planta de tractament de purins i productora d'urea. Aquesta tercera part, una de les més importants del projecte, tindrà una duració de vuit setmanes on s'analitzarà detalladament cada component necessari per obtenir el productes de l'estudi desitjats.

Finalment, es realitzarà un estudi de viabilitat econòmica i un estudi de mercat dels diferents productes obtinguts per poder determinar si el projecte és rendible. L'última etapa del projecte tindrà una duració de quatre setmanes, on es justificarà que la inversió a realitzar en una planta de biogàs és beneficiosa pel mateix propietari i pel medi ambient.

A continuació, s'adjunta un diagrama de Gantt de la planificació temporal on s'especifica la duració, en setmanes, de les diferents etapes del projecte. Aquest diagrama és una eina gràfica molt popular amb l'objectiu de mostrar visualment el temps dedicat per a cada diferent activitat del projecte al llarg de tota la investigació.

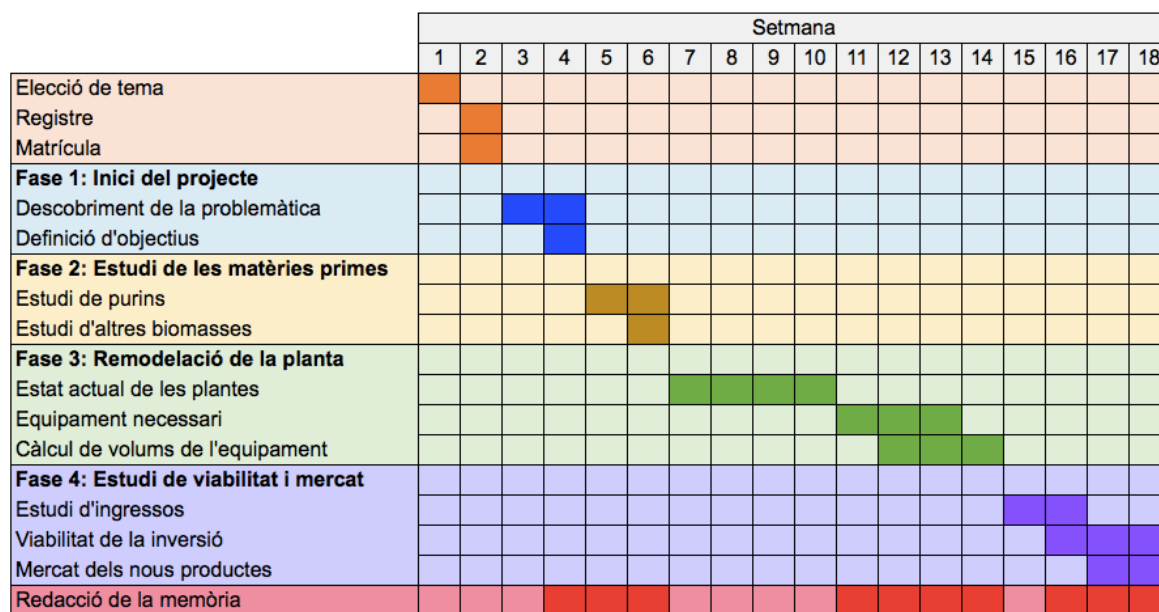


Figura 5. Diagrama de Gantt de la planificació temporal en setmanes

## 4. Estudi de les matèries primes

### 4.1. El purí

Un purí és considerat com una mescla d'excrements, orina, palla, sorra i restes d'animals. Les característiques dels purins i fems depenen de molts factors i la seva composició és molt variable, i es poden moure en uns intervals amplis, depenent de l'alimentació, l'estat fisiològic, l'edat, el tipus d'animal, etc.



Figura 6. Fotografia de purins

Els principals elements que defineixen al purí són els següents:

- 1.- Contingut elevat en aigua: el contingut mitjà d'aigua en els purins és del 94%.
- 2.- Poca matèria orgànica: es mesura mitjançant els sòlids volàtils (SV) o amb la DQO (quantitat d'oxigen necessari per oxidar la matèria orgànica). El valor mitjà del percentatge sòlids volàtils (SV) entre sòlids totals (ST) depèn del tipus d'animal, del 65% si són porcs o per sobre del 80% si són de vedells, boví o gallinassa.
- 3.- Contingut alt en nitrogen amoniacal: pot presentar una mitjana del 75% del nitrogen total després d'haver passat per un procés de digestió anaeròbia.
- 4.- Contingut en metalls: aquests metalls (com el coure i el zinc) es van acumulant en el sòl i poder arribar a intensificar l'efecte de fitotoxicitat als conreus, com el contingut de matèria orgànica i el pH de les terres.

5.- Fòsfor i Potassi: són elements necessaris per als cultius, però té una capacitat elevada de contaminació si arriba a les aigües residuals.

#### 4.1.1. El purí porcí

Els paràmetres més destacables de la composició dels purins de porc són:

Taula 1. Composició del purí de porc

Paràmetre	Mitjana	Unitats
Sòlids totals (ST)	62,16	g/kg
Sòlids volàtils (SV)	42,33	g/kg
Demanda química d'oxigen (DQO)	73,02	g/kg
Nitrogen amoniacal (N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	4,54	g/kg
Nitrogen orgànic	1,54	g/kg
Fòsfor (P)	1,38	g/kg
Potassi (K)	4,83	g/kg
Coure (Cu)	40	mg/kg
Zinc (Zn)	66	mg/kg

Es pot observar que els nivells d'amoníac concentrats en els purins de porc és molt elevat, sobretot en els porcs d'engreix, on els nivells amoniacals estan al voltant de 7 grams de nitrogen amoniacal per cada quilogram de purí.

En quan a la distribució europea dels caps de bestiar de porcí, Alemanya i Espanya són els dos països de la Unió Europea amb major producció porcina. Aquest dos països produeixen anualment un 37% de la producció total de la Unió (European Statistics, 2016).



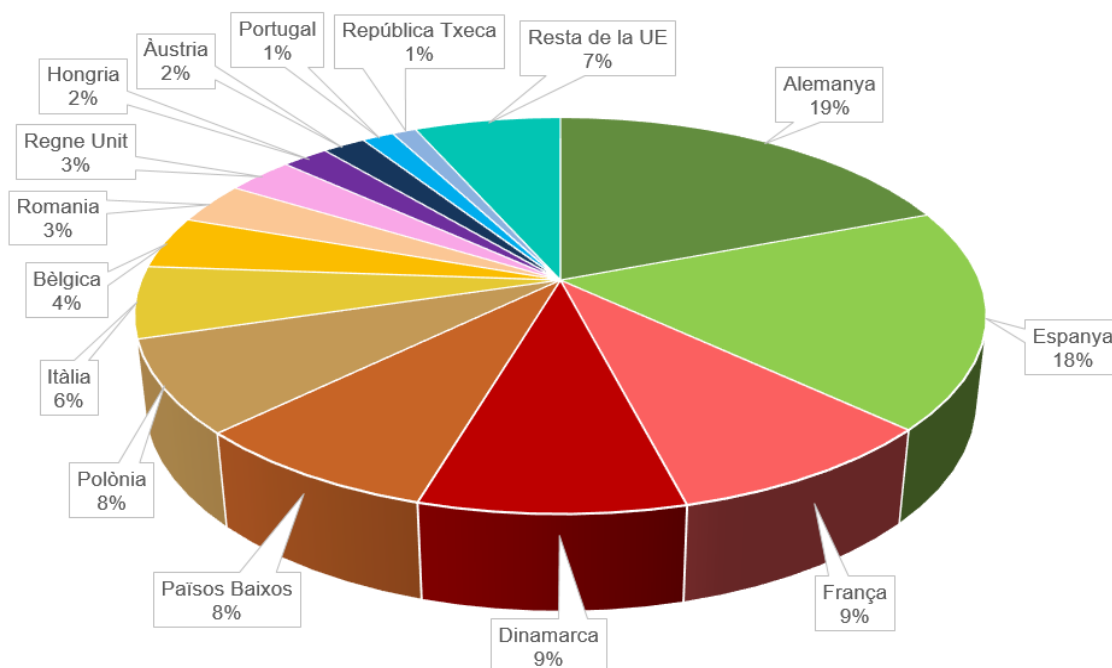


Figura 7. Caps de bestiar porcí de la Unió Europea

A nivell estatal, les principals àrees de producció es localitzen a la zona mediterrània, Catalunya, Aragó, Comunitat Valenciana i Murcia, on destaca Catalunya amb el 25% de la producció porcina espanyola i el 4,5% de la producció total de la Unió Europea.

Segons l'anuari estadístic de Catalunya d'Idescat, des de l'any 2000, els caps de bestiar porcí a Catalunya han incrementat des de 5,9 milions l'any 2000 fins 7,5 milions l'any 2014, el que correspon a un augment del 27% (Institut d'Estadística de Catalunya, 2000-2014).

La principal província productora porcina és Lleida, que produeix més del 60% de la producció total catalana, on hi destaquen les comarques del Segrià i la Noguera. El principal problema que ha sorgit a partir del creixement de la producció porcina no és la quantitat total, sinó l'excessiva concentració en determinades àrees, que supera la capacitat d'acceptació del medi.

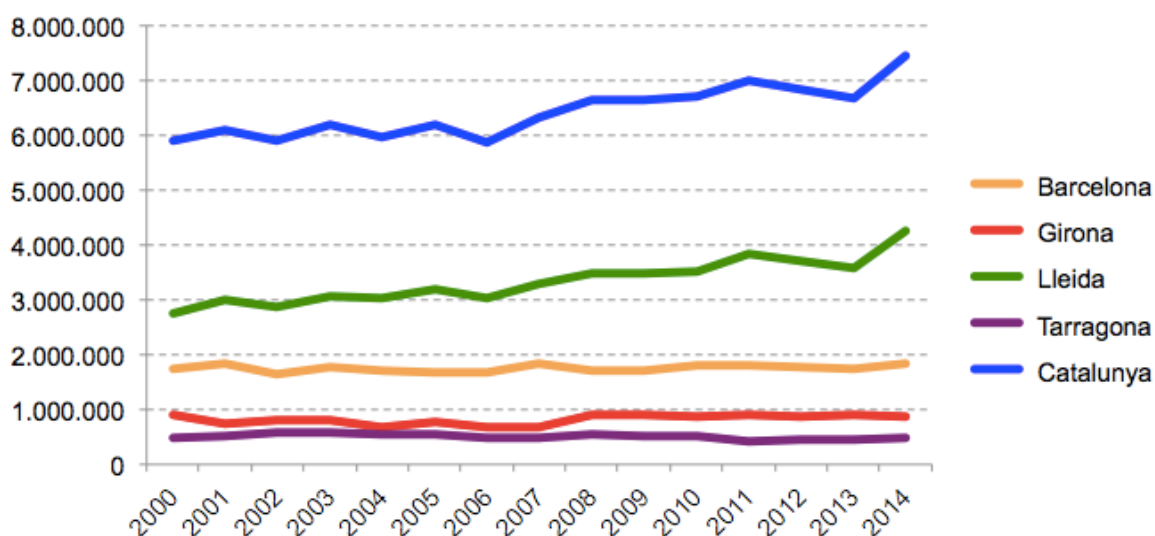


Figura 8. Evolució dels caps de bestiar porcí a Catalunya del 2000 al 2014

#### 4.1.2. El purí boví

La producció i composició química de purí de vaca, toro o bou varia principalment del consum de matèria seca, concentració de nutrients, digestibilitat de la dieta, el tipus d'animal i condicions climàtiques (Van Horn *et al.*, 1994).

El contingut de nitrogen amoniacal del bovins, en el cas de la vaques, és molt inferior al del porcíns, entre 1,37 i 1,59 g/kg de purí, depenent de les variables de dieta, animal, etc. Les que més produeixen aquest tipus de nitrogen són les vaques que es troben en sistemes intensius de lactància.

En quant als caps de bestiar bovins, França, Turquia i Alemanya són els països que més crien aquest tipus de animal, representen el 52,3% de la producció de tota la Unió Europea. En canvi, Espanya en aquest sector només representa el 7% del total europeu.

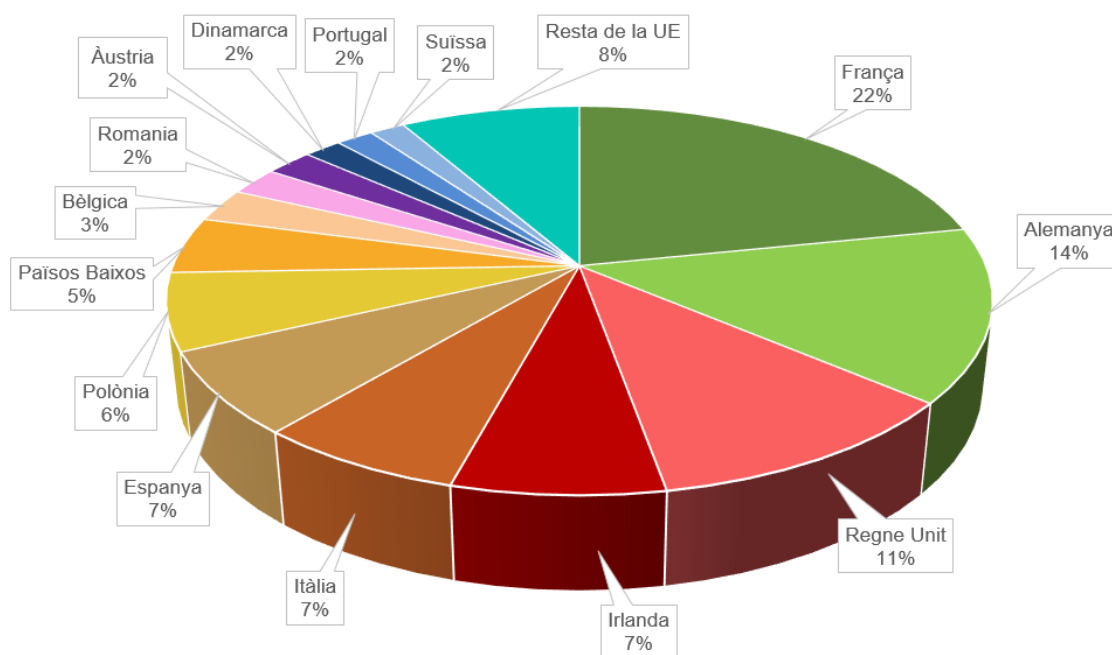


Figura 9. Caps de bestiar boví de la Unió Europea

A nivell català, la cria de vaques, bous i toros s'ha vist reduïda en un 16,81% durant l'any 2000. La gran majoria es centra en la província de Lleida, següidament de Barcelona i Girona. Aquesta disminució ha sigut ocasionada en gran mesura, per les diferents reformes de la Política Agrària Comunitària (PAC) (Maynegre *et al.*, 2015). Inicialment es va tractar d'una estratègia política de la UE amb la finalitat d'assegurar el manteniment de preus i al mateix temps controlar la producció dels estats membres.

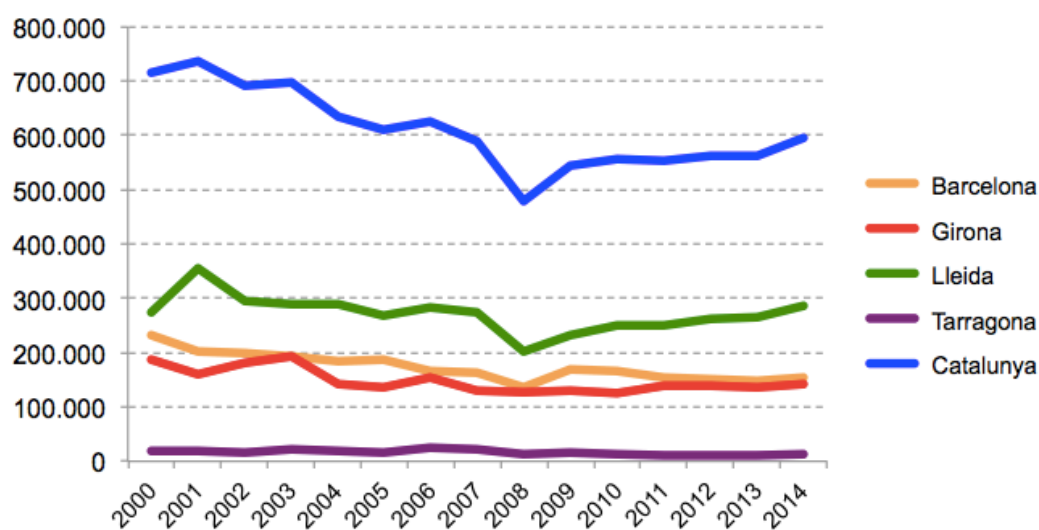


Figura 10. Evolució de bovins a Catalunya del 2000 al 2014

## 4.2. Altres residus orgànics

A part del purí, les plantes actuals de biogàs mesclen altres tipus de residus no orgànics per optimitzar i incrementar la producció de biogàs, que és la seva principal font d'ingressos a dia d'avui.

Un altre tipus de residu orgànic d'origen vegetal podria ser la pinassa. La tesis doctoral de Javier Sánchez de la Universitat de Murcia va demostrar que aquestes fulles són efectives per extreure els metalls pesats (Sánchez, 2011). Els coure, el cadmi, el mercuri, el zinc i el plom són alguns dels elements que es troben en les aigües resultants dels tractaments de purins i les seves concentracions han de reduir-se a nivells mínims. Aquesta tesis ha pogut comprovar que l'acícula de pi (pinassa) són molt eficaces com absorbents en l'eliminació de metalls pesants.

## 5. Remodelació de les plantes de biogàs actuals

### 5.1. Estat actual de les plantes de biogàs

Com s'ha mencionat en el apartat 2 d'aquest projecte, les plantes actuals de biogàs l'únic ingrés que obtenen és per la generació d'energia elèctrica a través de la combustió del biogàs extret de la digestió anaeròbia dels purins i altres compostos orgànics que s'afegeixen per millorar el rendiment de la producció de biogàs.

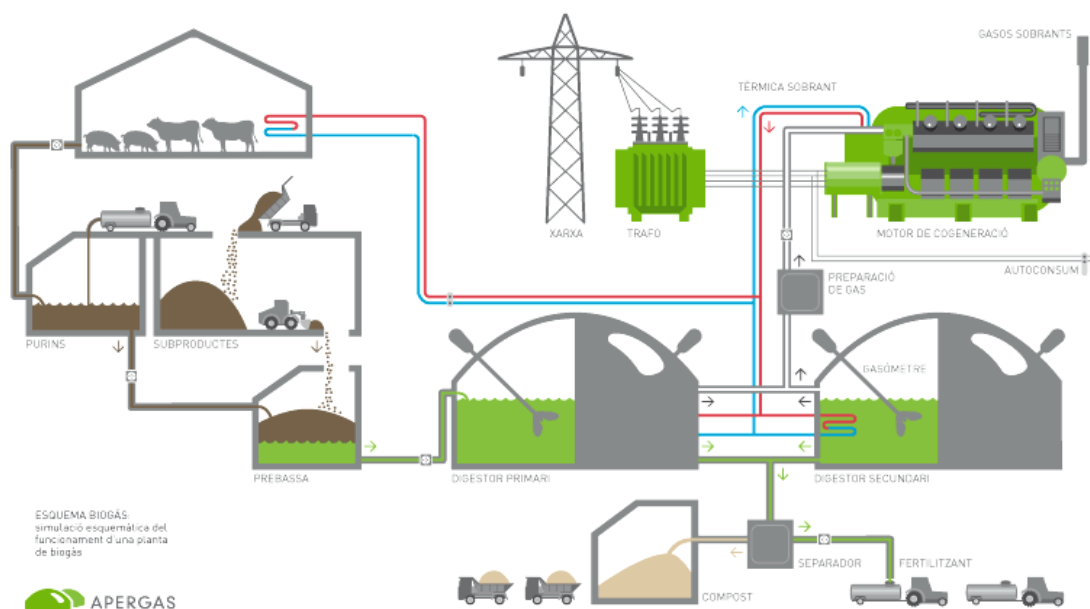


Figura 11. Esquema de la planta d'APERGAS que tracta 100 m<sup>3</sup> diaris de purí

Per poder realitzar aquest procés la majoria de petites i mitjanes plantes de biogàs principalment disposen del següent equipament, com es pot observar en la figura superior:

- 1.- Prebassa: és la bassa de recepció on es barregen purins i residus orgànics agroindustrials per optimitzar el rendiment de la producció de biogàs. Des de la prebassa es van alimentant periòdicament els digestors.
- 2.- Digestor anaeròbic: lloc on es dona la digestió anaeròbia, un procés microbiològic que succeeix després de que es donin diferents reaccions seguint un esquema sinèrgic en el

que la matèria orgànica es transforma en biogàs, un gas inflamable, principalment constituït per metà i diòxid de carboni. La producció de biogàs a partir de purins de porc està al voltant de 10 i 15 m<sup>3</sup> per tona (Bonmatí i Flotats, 2015). Per poder realitzar aquest procés són necessàries temperatures superiors als 35°C. Per aconseguir aquesta temperatura, el dipòsit s'escalfa amb l'escalfor sobrer del motor de combustió.



Figura 12. Digestor anaeròbic d'una planta de biogàs i motor de combustió

3.- Motor de combustió de biogàs: aquest motor aprofita el biogàs generat a través del produït a la digestió anaeròbia del purí. Aquest biogàs pot ser aprofitat bàsicament de dues maneres amb l'objectiu de generar energia tèrmica i elèctrica. Extreure només energia tèrmica és la opció més econòmica i senzilla, ja que només es necessari una caldera. Aquest calor és utilitzat per mantenir una temperatura estable en tota la seva instal·lació, com per exemple en el digestor. La segona opció és mitjançant la tecnologia de cogeneració, que permet produir energia elèctrica i alhora tèrmica. Aquesta electricitat pot ser utilitzada per al consum propi o per vendre-la a la xarxa, que es la font d'ingressos principal de les plantes de biogàs. La inversió necessària per obtenir aquesta tecnologia només és rendible quan les produccions de biogàs són elevades. D'aquesta manera el que s'intenta és optimitzar la producció de biogàs en el digestor anaeròbic.

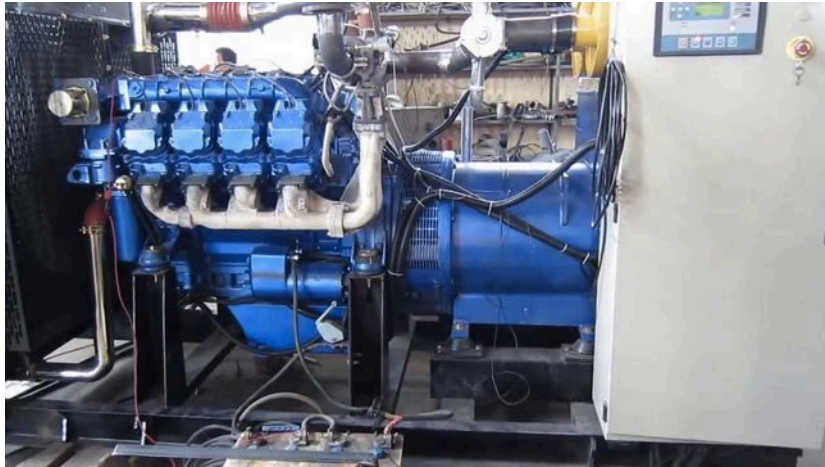


Figura 13. Motor DEUTZ de 300kW de biogàs

4.- Basses: són un tipus de construccions per a l'emmagatzematge del digestat. Aquest tipus de basses han de garantir la seva estanquitat i per això han de ser impermeables. Les basses són fonamentals per regular l'aplicació dels purins als conreus. En poques ocasions, només en plantes de mitjà i gran dimensió, el digestat passa per un separador sòlid-líquid. El sòlid és utilitzat pel compost i la fracció líquida com a fertilitzant. En el cas de no disposar del separador, els resultats de la digestió és directament dipositada en aquestes basses i posteriorment al sòl.



Figura 14. Extracció del digestat assecat per ser utilitzar com compost



## 5.2. Unitats bàsiques per l'obtenció d'urea

### 5.2.1. Separador Sòlid - Líquid

Aquests separadors permeten separar la fracció sòlida de la líquida provinent del digestor. D'aquesta manera, facilita la gestió de les dues parts. La separació és totalment fonamental i necessària per realitzar el compostatge de la fracció sòlida i el procés d'extracció d'amoniac de la part líquida.

El mètode de separació influeix en la possibilitat de recuperar els nutrients (Hjorth *et al.*, 2010) i del rendiment i inversió que es vulgui obtenir. Els diversos mètodes més utilitzats són:

1.- Sedimentació: és un procés físic en el que un sòlid en suspensió amb un líquid, acaba en el fons per l'efecte de la gravetat. La majoria de sedimentadors per purins consisteixen en un contenidor cilíndric en la seva part superior i cònic en la inferior.



Figura 15. Decantador cilíndric amb base cònica <sup>[13]</sup>

2.- Tamisat: tecnologia que es basa en la separació de sòlids d'acord amb la seva mida. Aquest tamís ha de tenir una dimensió específica de porus que permeti únicament el pas de les partícules sòlides amb una mida més petita que el de les obertures.





Figura 16. Tamisadora rotativa

3.- Centrifugació: Consisteix en generar una força centrífuga per poder separar la part sòlida de la líquida. Consisteix en un cilindre que es fa girar a grans velocitats dins d'una cubeta que gira a una menor velocitat. Les partícules sòlides es transporten cap a la part cònica i la fracció sòlida es descarrega per les obertures de líquids.

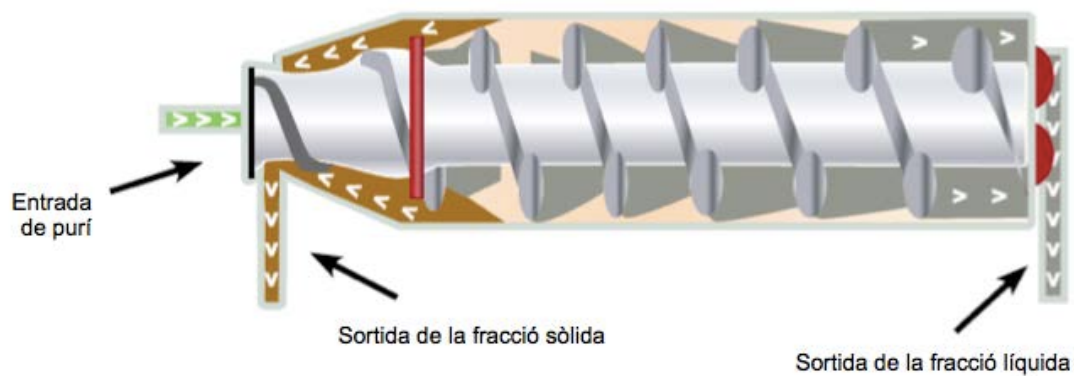


Figura 17. Centrifugadora adaptada de Moller

4.- Filtrat per premsat: Un cargol premsa transporta el purí a un tamisador cilíndric amb un cargol vis sens fi. La part líquida travessa el tamisat i es recull en un contenidor que el rodeja.

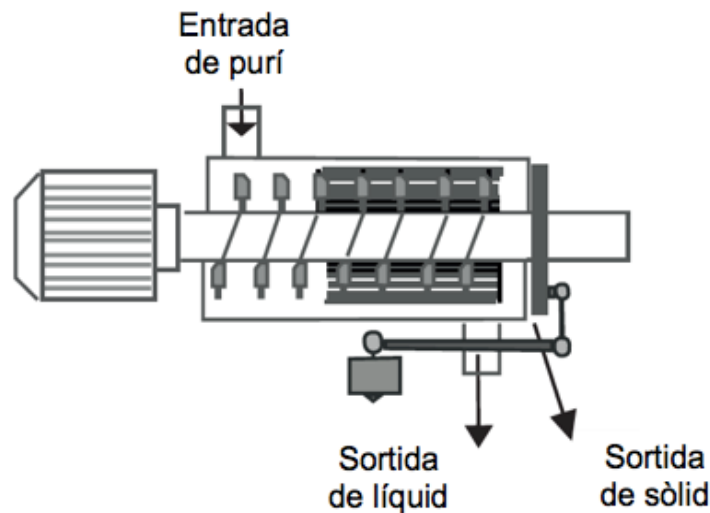


Figura 18. Esquema d'una premsa adaptada de Burton y Turnet

Les eficiències i el costos d'inversió que es mostren a continuació són aproximats (veure Taula 2 i Figura 19). L'índex de separació és la relació de la recuperació de la massa total d'un component en la fracció sòlida en la proporció a la massa d'aquest mateix component en el purí fresc. El rendiment del separador augmenta quanta major és la quantitat de fracció sòlida. En el gràfic, es mostra una estimació del cost de cada tecnologia, la depreciació, el manteniment, la mà d'obra i el consum d'energia de les diferents tecnologies mencionades anteriorment.

Com es pot observar, la tecnologia més costosa és la centrifugació mentre que les altres tenen un cost similar, però per aquest projecte el que interessa és la quantitat de nitrogen amoniacal que es separa, per tant, el mètode més rendible seria utilitzar la tecnologia de sedimentació.

Prenent com a exemple una petita planta de tractament de purins que tracta entre 50 i 70 m<sup>3</sup> de purins diaris, el cost de separar el sòlid i el líquid estaria al voltant de 18 € per dia, mentre que per una planta de 100 m<sup>3</sup> diaris, el cost seria d'uns 25 €. El cost de la separació és pot considerar negligible vers el cost energètic que serà necessari per realitzar el diferents processos per arribar a l'obtenció de la urea. Aquesta tecnologia suposa un gran benefici en front a la petita inversió necessària a fer, el baix cost de funcionament i la senzillesa de la tecnologia de la maquinària.

Taula 2. Rendiment, inversió i cost de funcionament de les tecnologies sòlid-líquid

Tecnologia de separació	Índex de separació (%)					Inversió (€)	Consum d'energia (kW / t)
	Volum	Matèria seca	N	N – NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	P		
Sedimentació	22	56	33	28	52	17.000	0,0 – 0,1
Tamisat	23	44	27	23	34	15.000	0,19
Centrifugació	14	61	28	16	71	40.000 – 100.000	2,90
Filtració per premsat	11	37	15	–	17	30.000	0,53

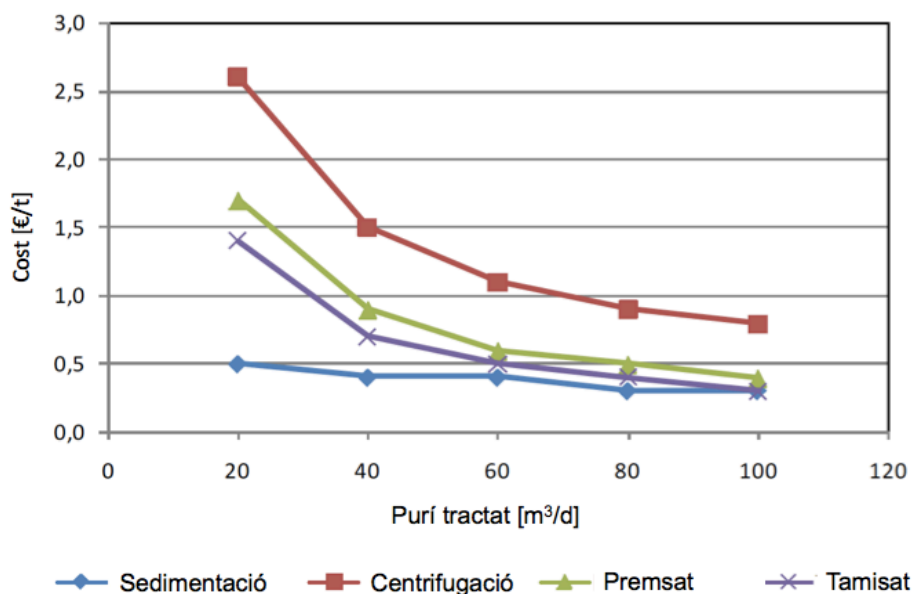


Figura 19. Cost de funcionament de les tecnologies sòlid-líquid (Cruz i Riaño, 2016)

### 5.2.2. Compostador

El procés de compostatge és un procés aeròbic de descomposició biològica espontània, durant el qual les bacteries, fongs i altres microorganismes es transformen en compostos orgànics, obtenint un substrat orgànic anomenat compost, un producte final que pot ser utilitzat per millorar i mantenir la qualitat del sòl i la seva fertilitat (Larney i Hao, 2007). El

compost està estabilitzat, lliure de fitotoxicitat i d'agents patògens i amb certa humitat (Zucconi i de Bertoldi, 1987).

El procés de compostatge no necessita energia externa i per tant, succeeix de manera espontània durant el qual els microorganismes es mineralitzen i metabolitzen els compostos orgànics simples amb facilitat i ajuda d'oxigen. La reacció produeix compostos inorgànics i alliberant calor, produint d'aquesta manera un increment de temperatura.

Com s'ha descrit amb anterioritat, una característica dels purins és la excessiva quantitat d'aigua, la qual necessitarà ser eliminada en un procés previ al compostatge. Per tant, serà necessari realitzar un tractament previ de separació sòlid-líquid per poder deslligar la fracció líquida de la sòlida del digestat.

El compost succeeix de manera natural però l'eficiència pot ser modificada alterant varis factors que determinen les condicions òptimes de compostatge. Els factors poden dividir-se en dos grups: aquells que depenen de la formulació de la mescla del compostatge (balanç de nutrients, pH, dimensió de les partícules, porositat i humitat) i els que depenen de la manipulació del procés (concentració d'O<sub>2</sub>, temperatura i contingut en aigua) (Bernal, 2008). El rang òptim de temperatures de compostatge és de 40 a 65 °C, que afecta a les emissions de l'amoníac romanent en la fracció sòlida. L'aire calent crea un flux que transporta l'NH<sub>3</sub> alliberant-lo cap a l'atmosfera, per tant serà necessari captar aquest amoníac en estat gas per evitar la contaminació en el procés de compostatge.



Figura 20. Compostatge en una bassa de purins

El procés de compostatge es produeix mesclant la fracció sòlida amb un agent estructurant adequat i es proporciona aire a la massa de compostatge. La selecció d'aquest agent és

essencial i ha d'escollir-se en base a la disponibilitat de l'entorn on es realitzi la digestió del digerit. Finalment, es necessari un procés de maduració sense necessitat d'aire per obtenir el producte final, un compost madur.

### 5.2.3. Separador d'amoníac

La part més complexa i important del procés consisteix en la separació d'amoníac de la fracció líquida de la sortida del separador, que és un dels dos components essencials per poder produir urea. Hi ha una gran concentració d'amoníac en l'efluent degut al procés de conversió biològica, on el nitrogen orgànic es degrada al nitrogen amoniacal. A la sortida del digestor, l'augment de nitrogen amoniacal és del 140-160%.

A dia d'avui les tècniques d'extracció d'amoníac no han sigut molt desenvolupades, ja que són tècniques relativament noves. Hi destaquen dos tècniques, que per ordre de rendiment són les següents:

1.- Stripping: L'extracció d'amoníac per Stripping o arrossegament de l'aire es basa en un procés físic-químic de moure aire a través d'aigua contaminada, en aquest cas d'amoníac en la seva totalitat. La separació per aire elimina els productes químics anomenats VOC (compostos orgànics volàtils). Aquests compostos són substàncies químiques que es poden evaporar fàcilment, d'aquesta manera el que es produeix és una evaporació dels VOC quan es fa circular aire.

L'objectiu d'aquest procés és transferir l'amoníac de fase líquida a gasosa mitjançant aire o vapor a contracorrent i la seva posterior recuperació. És un procés totalment dependent del pH i temperatura a la que es realitzi el procés. A més, l'extracció requereix un àlcali per augmentar el pH i/o calor per augmentar la temperatura per alliberar l'amoní lliure (Bonmatí i Flotats, 2002).

Aquesta tècnica innovadora, ja ha sigut aplicada a plantes municipals d'aigües residuals, lixiviats i aigües residuals industrials. També ha resultat exitosa en el laboratori de purí digerit de porc i vaques de llet, aconseguint eliminar més del 90% d'amoníac en els assaigs de laboratori (Laureni *et al.*, 2013). Encara no s'ha establert una clara relació entre les característiques del purí i el rendiment de l'eliminació, però es probable que el contingut de matèria orgànica sigui el paràmetre més important. En algunes regions de Llombardia (Itàlia) ja han posat en pràctica aquesta tecnologia en línies de tractament de residus, principalment en un tractament posterior al de la digestió anaeròbia (Moscatelli i Fabbri, 2008).

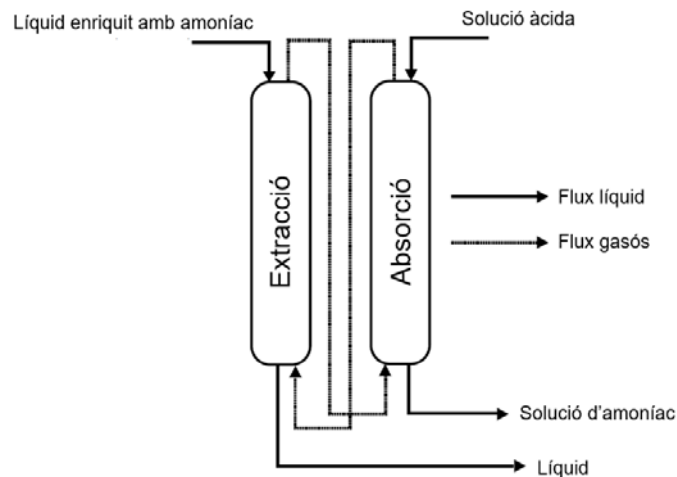


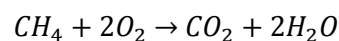
Figura 21. Procés d'extracció i absorció de l'amoniac (*stripping*)

2.- Evaporació: L'extracció d'amoniac per evaporació és una tècnica molt innovadora. Es sap que el rendiment de la separació d'amoniac és dependent de la temperatura, pressió i pH. La separació es produeix per diferència del punt d'ebullició,  $-33,34^{\circ}\text{C}$  i  $100^{\circ}\text{C}$  a 1 bar de l'amoniac i l'aigua respectivament. Altres variables per poder agilitzar el procés de separació són variant el pH cap a una solució bàsica o realitzar el procés en buit.

El funcionament de l'evaporador és un processament per lots, en anglès, procés *batch*. El flux d'aigua amoniacal no circula en regim continu, si no que el recipient del reactor s'omple fins el nivell, es tanca i s'aïlla, i quan el procés d'evaporació s'ha acabat, l'evaporador es buida pels seus canals per tornar-lo a omplir. Amb un serpentí metàl·lic es calenta el líquid a una temperatura inferior al punt d'ebullició de l'aigua per evaporar l'amoniac. Després de passar per la vàlvula de sortida del gas, aquest passa per un filtre de pinassa per acabar de retenir el metalls pesant i un filtre de carbó actiu per acabar d'eliminar les restes d'olor a purí que tingui l'aigua. L'evaporador disposa de mesuradors de pressió, caudal d'aigua i vàlvules d'obertura i tancament per diferència de temperatura, per poder deixar passar i tenir un control total dels *inputs* i *outputs* de l'evaporador.

#### 5.2.4. Adaptació dels gasos d'escapament

El  $\text{CO}_2$  necessari per la producció d'urea serà obtingut del gasos resultants de la combustió del biogàs en el motor. Es crema el metà del biogàs obtenint diòxid de carboni i aigua.



Actualment, un cop han obtingut energia elèctrica i/o tèrmica, depenent de si es disposa d'un sistema de cogeneració o no, els gasos són alliberats a l'atmosfera i no s'aprofiten de cap manera. Si la planta no disposa de la tecnologia de cogeneració, es podria fer circular els gasos, que s'alliberen a una temperatura aproximadament de 600°C, per algun tipus de sistema per poder aprofitar el calor de la canonada.

La solució que es proposa és fer circular aquests gasos per una canonada per poder concentrar el CO<sub>2</sub> en un dipòsit. El problema és que aquest gas no només està compostat per diòxid de carboni, sinó que també conté aigua en forma de vapor. Una solució senzilla i econòmica per separar l'aigua pot ser baixar la temperatura dels gasos a través d'una superfície freda fins que condensi i estigui en estat líquid.

Un cop s'obtingui el diòxid de carboni es pot concentrar fàcilment en estat líquid en un dipòsit de capacitat suficient per emmagatzemar la substància produïda durant el dia. És necessari dipositar-lo en un contenidor ja que la sortida de digestat del digestor no és constant en el temps, contràriament a la producció de diòxid en una planta, ja que el motor està permanentment treballant les 24 hores del dia, 365 dies a l'any.

### 5.2.5. Sintetitzador d'urea

La síntesi de la urea no és ni molt menys una etapa senzilla. Al 1870 es va desenvolupar un mètode per poder sinteritzar la urea deshidratant el carbamat d'amoni a alta temperatura. Aquest mètode té un rendiment major al que va descobrir Friedrich Wöhler al 1828 i és el utilitzat avui en dia per la producció d'urea a nivell industrial. Per produir la urea a nivell industrial i elevades quantitats és necessari d'una instal·lació molt costosa i les plantes de biogàs no disposen de suficient superfície lliure per poder construir-ne una.



Figura 22. Fàbrica productora d'urea a Puertollano, Ciudad Real



Per tant, si la producció d'urea a cada planta de biogàs és molt elevada, el que s'hauria de proposar és localitzar la planta per sinteritzar-la en una posició estratègica a prop de les zones vulnerables i que les plantes de biogàs enviïn l'amoníac i el diòxid de carboni en dipòsits a aquesta fàbrica central per poder produir la urea. D'aquesta manera es podria considerar que les plantes de tractament fossin les productores de les matèries primes i gestionar-les per enviar-les cap a la fàbrica central.

### 5.3. Diagrama de blocs d'una planta remodelada

A continuació, es mostra un esquema general de l'equipament bàsic necessari per poder obtenir urea en una planta de biogàs. En l'apartat 5.5 es troba el detall de cada subprocés.

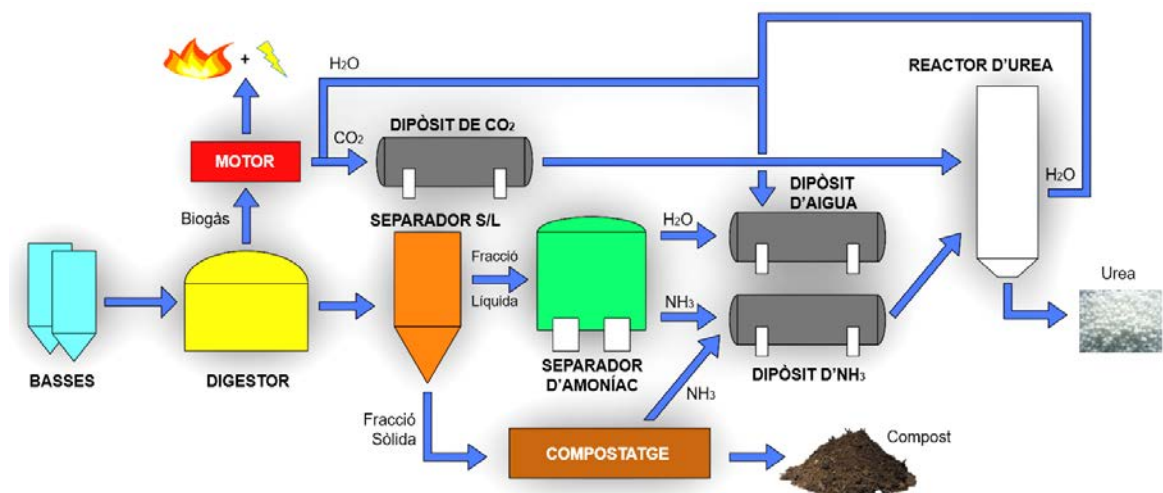


Figura 23. Diagrama de blocs d'una planta de biogàs remodelada

Com es pot observar i ha sigut comentat en el punt anterior, la infraestructura per obtenir les matèries primeres de la urea es podria instal·lar en el mateix terreny de la planta de tractaments de purins. L'únic punt crític de la instal·lació a nivell de costos seria el reactor de producció d'urea, que depenent de l'estudi de viabilitat econòmica, es podrà instal·lar en la mateixa planta de biogàs, o s'haurà de col·locar en una situació estratègica com s'ha mencionat en el punt anterior.

El procés passarà a ser un procés tancat on s'aprofiten la totalitat del gasos i productes resultants del processos, sent autosuficient, ja que tot el que necessiti per funcionar ho generarà ell mateix. A més, permetrà solucionar la contaminació que generen els processos actual similars i permetria donar una nova oportunitat a les plantes de tractament de residus



actualment tancades.

A més de l'equipament de separació i producció d'urea, hi haurà la necessitat d'instal·lar una dipòsits per poder emmagatzemar el diòxid de carboni, l'amoníac, l'aigua i la urea i de bombes per facilitar el moviment dels fluids a través de les canonades. La dimensió d'aquests dipòsits serà determinada posteriorment en el càlcul d'obtenció de productes.

## 5.4. Càlcul de l'obtenció de productes

Els següents càlculs de l'obtenció dels subproductes que s'obtenen per la nova planta remodelada estan realitzats per una planta mitjana de biogàs, que tracten entre 100 i 110 m<sup>3</sup> de purí diàriament, que corresponen a 36.000 m<sup>3</sup> de purí per any.

Taula 3. Característiques del purins

Concepte	Valor	Unitats	Observacions
Purí tractat	36.000	m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup> / dia · 360 dies / any
Biogàs generat	423.000	m <sup>3</sup>	1 m <sup>3</sup> de purí = 9-14,5 m <sup>3</sup> biogàs
Fracció líquida	33.840	m <sup>3</sup>	94% del purí és aigua
Fracció sòlida	720	tones	2% del purí és part sòlida (compost)

### 5.4.1. Càlcul de diòxid de carboni per la combustió de biogàs

El biogàs està compost per un 65% de metà (CH<sub>4</sub>) i un 35% de diòxid de carboni (CO<sub>2</sub>), tenint d'aquesta manera 274.950 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> i 148.050 m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub>. La reacció de combustió és la següent: CH<sub>4</sub> + 2 O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O. Considerant unes condicions normals d'entrada de 25°C i 1 atm de pressió obtenim els següents resultats:

$$n_{CH_4} = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} = \frac{1 \text{ atm} \cdot 274.950 \text{ m}^3}{0,082 \cdot 10^{-3} \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot (25 + 273,15) \text{ K}} = 12.064.233,5 \text{ mols } CH_4$$

$$m_{CO_2-Comb} = 12.064.233,5 \text{ mols } CH_4 \cdot \frac{1 \text{ mol } CO_2}{1 \text{ mol } CH_4} \cdot \frac{44 \text{ g de } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} \cdot \frac{1 \text{ tona}}{10^6 \text{ g}} = 530,83 \text{ tones}$$

$$m_{CO_2-Biogàs} = \frac{P \cdot V}{R \cdot T} \cdot M(CO_2) = \frac{1 \text{ atm} \cdot 148.050 \text{ m}^3}{0,082 \cdot 10^{-3} \frac{\text{atm} \cdot \text{m}^3}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot (25 + 273,15) \text{ K}} \cdot \frac{44 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \cdot \frac{1 \text{ tona}}{10^6 \text{ g}} = 266,45 \text{ tones}$$

$$V_{H_2O} = 12.064.233,5 \text{ mols } CH_4 \cdot \frac{2 \text{ mols } H_2O}{1 \text{ mol } CH_4} \cdot \frac{18 \text{ g de } H_2O}{1 \text{ mol } H_2O} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{10^6 \text{ g}} = 434,31 \text{ m}^3$$

Amb els càlculs anteriors es pot observar que anualment s'obtindrien de la combustió del biogàs 800 tones de diòxid de carboni i 434 metres cúbics d'H<sub>2</sub>O.

#### 5.4.2. Càlcul d'amoníac de la part líquida

Una de les característiques més important del purí és que el 94% d'aquest és aigua, però aquesta està caracteritzada per el seu elevat contingut en nitrogen amoniacal. Cada litre d'aigua amoniacal conté entre 1,65 i 7,99 grams de nitrogen amoniacal, més el nitrogen orgànic que es transforma a amoniacal després de la digestió anaeròbia. D'aquesta manera, cada quilogram de purí conté 7 grams aproximadament d'amoníac.

$$m_{NH_3} = 36.000 \text{ m}^3 \cdot \frac{800 \text{ kg purí}}{1 \text{ m}^3 \text{ purí}} \cdot \frac{7 \text{ g d' } NH_3}{1 \text{ kg purí}} \cdot \frac{1 \text{ tona}}{10^6 \text{ g}} = 201,6 \text{ tones}$$

$$V_{H_2O} = \left( 36.000 \text{ m}^3 \cdot 94\% \cdot \frac{1 \text{ tona}}{1 \text{ m}^3 H_2O} - 210 \text{ tones} \right) \cdot \frac{1 \text{ m}^3 H_2O}{1 \text{ tona}} = 33.630 \text{ m}^3$$

La quantitat d'amoníac que s'obtindria pel procés d'*stripping* o evaporació d'amoníac seria de 201,6 tones en el cas d'un rendiment del 100% del procés. El volum d'aigua obtinguda seria de 33.630 m<sup>3</sup>, a més dels 434 obtinguts en la combustió del biogàs, fent un total de quasi 34.000 metres cúbics.

#### 5.4.3. Càlcul de l'obtenció d'urea

Per realitzar els càlculs d'obtenció d'urea són necessàries les dades d'amoníac i diòxid de carboni obtingudes als apartats anteriors. Es disposen de 201,6 tones d'amoníac i 797,28 tones de diòxid de carboni. La totalitat de l'amoníac serà utilitzada per la producció d'urea, en canvi, no podrà ser utilitzada la totalitat del diòxid de carboni. La reacció química per obtenir urea és la següent:  $2 \text{ NH}_3 + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{NH}_2\text{COONH}_4 \leftrightarrow \text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$

$$m_{CO_2} = 201,6 \text{ tones } NH_3 \cdot \frac{10^6 \text{ g}}{1 \text{ tona}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{17 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ mol } CO_2}{2 \text{ mol } NH_3} \cdot \frac{44 \text{ g } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} \cdot \frac{1 \text{ tona}}{10^6 \text{ g}} = 260,89 \text{ tones}$$

$$m_{urea} = 201,6 \text{ tones } NH_3 \cdot \frac{10^6 \text{ g}}{1 \text{ tona}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{17 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ mol urea}}{2 \text{ mol } NH_3} \cdot \frac{60,1 \text{ g urea}}{1 \text{ mol urea}} \cdot \frac{1 \text{ tona}}{10^6 \text{ g}} = 356,36 \text{ tones}$$

$$m_{H_2O} = 201,6 \text{ tones } NH_3 \cdot \frac{10^6 \text{ g}}{1 \text{ tona}} \cdot \frac{1 \text{ mol}}{17 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ mol } H_2O}{2 \text{ mol } NH_3} \cdot \frac{18 \text{ g } H_2O}{1 \text{ mol } H_2O} \cdot \frac{1 \text{ tona}}{10^6 \text{ g}} = 106,73 \text{ tones}$$

La quantitat d'urea obtinguda considerant un rendiment del 100% de la reacció, seria de 356,36 tones anuals i 107 metres cúbics d'aigua com a resultat de la reacció. De les 800 tones disponibles de diòxid de carboni de la combustió, per a la producció d'urea només són necessàries 261 tones, per tant quedarien disponibles 539 tones de CO<sub>2</sub> per destinar-los a altres possibles aplicacions d'aquest producte.

Considerant un rendiment del 90% en el procés de síntesi de la urea, s'obtidrien 320 tones anualment en una planta que tractés 36.000 m<sup>3</sup> cada any de purí. La producció d'urea per hora seria de 37 kg/h, considerant que els equips treballessin les 24 hores del dia i 360 dies a l'any i per tant, l'equipament necessari o planta de producció podria ser de la mida d'uns equips a escala laboratori, fet que podria permetre la síntesi d'aquest producte en cada planta de biogàs, deixant de banda la centralització de la producció d'urea en una gran planta.

Amb la implementació del nou procés de tractament de purins, tota la contaminació que avui en dia està causant l'amoníac als aqüífers i a l'atmosfera seria evitada gràcies al procés d'extracció d'NH<sub>3</sub> i la seva posterior transformació en urea.

#### 5.4.4. Càlculs de dipòsits

Per poder controlar la producció d'urea i la distribució de l'aigua seran necessaris quatre dipòsits pel CO<sub>2</sub>, l'NH<sub>3</sub>, l'aigua i la urea.

$$V_{urea} = 320,72 \text{ tones} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1,24 \text{ tones}} = 258,65 \text{ m}^3$$

$$V_{H_2O} = 106,73 + 33.630 + 434,31 = 34.171,03 \text{ m}^3$$

$$V_{CO_2} = 260,89 \text{ tones } CO_2 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1,56 \text{ tones}} = 167,24 \text{ m}^3$$

$$V_{NH_3} = 201,6 \text{ tones } NH_3 \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{0,68 \text{ tones}} = 296,47 \text{ m}^3$$

Considerant els volums obtinguts, la retenció de l'amoniac i diòxid de carboni en els dipòsits serà de dos dies, mentre que la de l'aigua només en serà un i la de la urea podria ser de dues setmanes. D'aquesta manera, els dipòsits haurien de tenir el següent volum:

1.- Urea:  $10 \text{ m}^3$

2.- Aigua:  $95 \text{ m}^3$

Per poder calcular el volum dels dipòsits de  $\text{CO}_2$  i  $\text{NH}_3$  s'ha de preveure que no tot el volum del dipòsit estarà en fase líquida, sinó que en la part superior d'aquest els productes estaran en fase gasosa. Observant la corba d'equilibri líquid-vapor, si els dipòsits es troben a temperatura ambient, el diòxid de carboni en estat gasós es trobarà a 50 bar de pressió i l'amoniac a 10 bar. Serà necessari augmentar el volum de cadascun dels dipòsits per evitar una excessiva pressió a les parets dels mateixos, un 150% en el cas del  $\text{CO}_2$  i un 50% en el cas de l' $\text{NH}_3$ , obtenint uns dipòsits de les següents dimensions:

3.- Diòxid de Carboni:  $2,5 \text{ m}^3$

4.- Amoníac:  $2,5 \text{ m}^3$

## 5.5. Funcionament de la nova planta

La recepció de purins i altres substrats es realitzarà en la prebassa, on es mesclaran els diferents residus, com es fa actualment. Un cop ajuntada la quantitat necessària de cada matèria per optimitzar la producció de biogàs, aquesta es dipositarà en els diferents digestor on romandrà 55 dies fins que sigui extreta la totalitat del biogàs amb l'ajuda d'uns agitadors que remouran la mescla.

Per incrementar la producció de biogàs, les plantes disposen de digestors primaris i secundaris, per realitzar un procés anomenat codigestió. En el primari romanen 41 dies mentre que en el secundari el temps de digestió és de 14 dies. El volum total del digestors, considerant la planta que tracta  $36.000 \text{ m}^3$  anuals, haurà de ser de  $5.000 \text{ m}^3$ , repartits en  $3.700 \text{ m}^3$  pel primari i els  $1.300 \text{ m}^3$  restants pel secundari.

El biogàs extret de la digestió anaeròbia és conduït fins el motor de combustió i és cremat per a poder obtenir energia elèctrica i tèrmica. El productes de la reacció, el  $\text{CO}_2$  i l' $\text{H}_2\text{O}$  actualment són llançats a l'atmosfera sense cap tipus de tractament ni mesura per intentar evitar-los. La primera innovació del procés és fer recircular els gasos del tub d'escapament del motor cap a un condensador que permetrà la separació d'aigua i diòxid de carboni. Aquest últim serà finalment emmagatzemat en un dipòsit en estat líquid per facilitar el seu transport per les canonades. L'energia sobrant que no sigui utilitzada en les instal·lacions, serà transformada en un transformador d'alta tensió i venuda a la xarxa.

El resultat de la digestió, el digestat, és conduït fins el separador sòlid-líquid (sedimentador) on romandrà dos dies per poder realitzar correctament la divisió. Per tant, el volum necessari d'aquest haurà de ser 27,5 vegades inferior que el digestor. Si aquest és de  $5.000 \text{ m}^3$ , la capacitat del sedimentador per tal de poder treballar sense acumulació hauria de ser de 180 metres cúbics.

El rendiment o índex de separació haurà de ser superior al 95% ja que per realitzar els processos posteriors serà necessari que no existeixi una mescla de les parts. En el cas de que el flux de sortida del digestor contingui un gran percentatge de fracció sòlida, serà indispensable instal·lar un altre separador addicional en sèrie per tal d'optimitzar el procés i poder continuar. Un cop deslligades les parts, s'obté la fracció sòlida, un biofertilitzant, i la fracció líquida, una aigua amb un alt nivell de nitrogen en forma d'amoníac i amb contingut en metalls pesants.

Per una banda, el tractament del biofertilitzant. Per poder-lo transformar en un producte estable que pugui ser utilitzat per millorar la qualitat i fertilitat del sòl haurà de passar per un procés de compostatge. En aquesta etapa, serà necessària la instal·lació d'un captador de gasos de manera que es retengui l'emissió d'amoníac i evitar que aquest producte sigui volatilitzat i alliberat cap a l'atmosfera. Obtingut el compost madur, aquest ja podrà ser emmagatzemat i transportat als conreus propers per a que pugin utilitzar aquest compost com a fertilitzant amb els nutrients necessaris, el nitrogen, el fòsfor i el potassi.

D'altra banda, l'obtenció de l'amoníac a partir de la fracció líquida. Primerament, l'efluent líquid circularà per un filtre de pinassa per a retenir el contingut restant en metalls com el coure i el zinc que queden romanents. La pinassa té la virtut de ser una biomassa que absorbeix aquests metalls i Catalunya en disposa abundantment, i la seva recol·lecció podria evitar futurs incendis forestals. Un cop la pinassa no accepti més metalls serà

cremada i generarà energia elèctrica degut al seu alt poder calorífic i la seva cendra reutilitzada com adob per la terra, finalment.

En segon lloc, el líquid provinent del filtre de pinassa, serà circulat per un procés de separació d'amoníac mitjançant la tecnologia d'*stripping* o d'evaporació, on s'obtingran tres productes: aigua, amoníac i la fracció sòlida romanent que no ha pogut ser deslligada en el procés anterior de separació. L'amoníac serà emmagatzemat en estat líquid en un dipòsit, per intentar que el volum d'aquest sigui el mínim possible i per preparar-lo abans de la producció d'urea. En canvi, l'aigua extreta serà filtrada novament per un filtre, en aquest cas de carbó actiu, per acabar d'eliminar el possible olor a purí que pugui tenir. Per últim, l'aigua serà dipositada i distribuïda pels conreus de la zona, mentre que la petita fracció sòlida restant s'afegirà a la provinent del separador sòlid-líquid per ser compostada.

Finalment, serà necessari la adaptació de vàlvules electròniques per obrir i tancar els dipòsits d'amoníac i diòxid de carboni per poder coordinar i controlar els fluxos de les entrades al reactor d'urea. Un cop entrin els reactius al sintetitzador, caldrà fer-los circular a contracorrent a alta temperatura i pressió per a que es doni la producció de la urea i com a resultat, un sòlid granular. Obtingut el producte, serà emmagatzemada en el seu dipòsit i posteriorment comercialitzada com a fertilitzant o com a matèria prima per l'AdBlue®. Per a fabricar l'AUS32 caldrà mesclar-lo juntament amb aigua destil·lada al 32,5%, en canvi per la comercialització com a fertilitzant podrà ser venut directament en textura granular.

## 6. Estudi de viabilitat econòmica

Després d'haver realitzat un estudi tècnic de l'equipament necessari per poder arribar a obtenir el producte desitjat, es determinarà la quantitat de recursos necessaris per poder-ho dur a terme. L'anàlisi econòmic servirà per quantificar els possibles beneficis d'aquest projecte i poder-los comparar amb el que actualment obtenen les plantes de biogàs. S'ha considerat un període d'estudi, o un horitzó, de 5 anys i una planta que tracta 100 m<sup>3</sup> de purí diàriament.

### 6.1. Beneficis directes

Actualment, les mescles que es fan el digestat i un bon temps de digestió augmenten la producció de biogàs considerablement. Segons la informació aportada per una planta de biogàs catalana, obtenen aproximadament 60 m<sup>3</sup> de biogàs per m<sup>3</sup> d'*input* al digestor i un temps de retenció d'aproximadament 55 dies, molt més elevat comparant-ho amb els 10-15 m<sup>3</sup> que només donaria si el digestat fos exclusivament purí de porc.

Respecte a la producció d'energia, 1 m<sup>3</sup> de biogàs produeix entre 1,8 i 2 kWh d'energia elèctrica i de 2 a 3 kWh d'energia tèrmica, depenent de la potència de la unitat de cogeneració (Bonmatí i Flotats, 2015). Considerant només l'energia elèctrica com un ingrés, ja que l'energia tèrmica és utilitzada pel manteniment i consum de la pròpia instal·lació, s'obtenen 4.320.000 kWh anualment. L'Estat espanyol subvenciona la generació d'energia a partir de biogàs i per cada MWh paga 70 €

Per tant, els ingressos que obté anualment una planta de biogàs amb tecnologia de cogeneració que tracta 100 m<sup>3</sup> diaris són els següents:

Taula 4. Ingressos actuals d'una planta de biogàs

Concepte	Valor	Unitats
Tractament de residus	36.000	m <sup>3</sup>
Generació de biogàs	2.160.000	m <sup>3</sup>
Generació d'energia tèrmica	5.400	MWh

Producció elèctrica	4.320	MWh
Autoconsum d'energia elèctrica	648	MWh
Electricitat neta generada	3.672	MWh
Preu del MWh	70	€/ MWh
Ingrés per la venda d'electricitat	257.040	€

L'ingrés anual que té aquesta planta de biogàs és de 257.040 €. A continuació s'estudiarà la mateixa planta però amb la tecnologia que suporta aquest projecte.

Els ingressos per la generació d'energia seguiran sent els mateixos, el nou benefici que obtindran aquestes plantes, serà de la venda dels nous productes obtinguts i els que anteriorment no podien ser venuts per no complir la normativa de sòstres sostenibles, com l'aigua i el compost, que gràcies a la tecnologia del projecte BIOUREA compliran amb els nivells amoniacals adequats per ser comercialitzats.

Considerant que el preu dels productes obtinguts totalment a partir de biomassa, productes bio, aquests tenen un valor afegit al preu del productes que s'obtenen a partir de font no renovables. Prenent el preu de 455 €/tona d'urea, 5 €/m<sup>3</sup> d'aigua i 42 €/tona de compost, els ingressos que obtindria la planta serien els següents:

Taula 5. Ingressos amb la nova tecnologia

Concepte	Valor	Unitats
Ingrés per la venda d'electricitat	257.040	€
Ingrés per la venda d'urea	146.107,6	€
Ingrés per la venda d'aigua per regar	170.855,15	€
Ingrés per la venda de compost	30.240	€
Ingrés total amb la nova tecnologia	604.242,75	€



Per tant, les plantes obtindrien un increment del 235% en l'ingrés de la planta, sense contar els beneficis indirectes que seran comentats posteriorment per evitar els gasos d'efecte hivernacle que les plantes actuals no compleixen.

## 6.2. Beneficis indirectes i impacte ambiental

Déu països de la Unió Europea, entre ells Espanya, excedeixen algun del límits d'emissions de contaminants. D'acord amb la Directiva de Sostres Admissibles d'Emissions Nacionals, els estats membres es van comprometre a no superar el límit dels quatre contaminants principals al 2010: el diòxid de sofre, òxid nitrós, compostos orgànics volàtils diferents del metà (COVNM) i amoníac. Alemanya va ser l'únic país que va superar els tres sostres, Àustria i Dinamarca van incomplir-ne dos. Espanya, juntament amb Àustria, Dinamarca, Finlàndia i Alemanya, és un dels països amb problemes persistents degut a les emissions d' $\text{NH}_3$ .

Segons els estudis del Ministeri d'Agricultura, Alimentació i Medi Ambient del Govern d'Espanya, es xifren les emissions d'amoníac de 2014 en 372.710 tones, de les quals el 93% són per l'ús de fertilitzants i fems procedents d'animals. Per tant, 346.620 tones d' $\text{NH}_3$  són produïdes pel purins dels animals espanyols. Amb el que respecte al cost econòmic a les emissions atmosfèriques, l'EEA ha estimat que el cost associat dels quatre contaminants principals es va situar entre els 19.300 i 41.900 milions d'euros durant el període de 2008 a 2012. El total de les emissions de 2014 d'aquests quatre contaminants s'estima pel Ministeri en 2.042,7 ktones. Per tant, el cost que té l'Estat respecte l'amoníac dels fertilitzants i fems són de 818,9 milions d'euros, prenent el cas més favorable (19.300 milions d'euros).

Respecte a les emissions de diòxid de carboni, s'evitarien 261 tones de  $\text{CO}_2$  anuals, que no suposa un gran impacte com el de l'amoníac però si una ajuda a reduir els gasos d'efecte hivernacle.

Taula 6. Cost i estalvi de l'Estat provocats per les emissions contaminants

Concepte	Valor	Unitats
Emissions totals dels quatre contaminants	2.042,7	ktones
Emissions d'amoníac	372,7	ktones

Emissions d'amoníac associades als purins	346,6	ktones
Cost anual de l'Estat	4.825	M€
Cost de l'amoníac de purins	818,9	M€
Ingrés indirecte per evitar l'emissió d'amoníac de la planta de 36.000 m <sup>3</sup>	476.300	€
Mitja dels preus del CO <sub>2</sub> de 2016	5,73	€/ tona
Ingrés indirecte per evitar l'emissió de diòxid de carboni de la planta de 36.000 m <sup>3</sup>	1.495,53	€
<b>Total ingrés indirecte per evitar emissions</b>	<b>477.795,53</b>	<b>€</b>

Contemplant l'ingrés indirecte que obtindria l'Estat per evitar les emissions de gasos GEI, cal remarcar que el ramader obtindria un benefici directe degut a la no contaminació, que podrien augmentar el número de caps de bestiar. Actualment estan limitats degut a la gran contaminació del aquífers i l'atmosfera que estan causant per la mala o nul·la gestió dels purins.

### 6.3. Estudi de viabilitat de la inversió

Per poder realitzar el càlcul de viabilitat de la inversió, primer s'haurà de fer un estudi del cost de l'equipament necessari i l'adaptació d'aquests a la planta de biogàs. Els serveis subcontractats per la instal·lació estan reflectits en la partida d'obra civil i lloguer de màquina mentre que totes les altres corresponen a l'estructura necessària.

Taula 7. Cost de la inversió (Equipaments + Reforma)

Concepte	Valor	Unitats
Reactor d'urea	450.000	€
Separador d'amoníac	190.000	€
Obra Civil	88.000	€

Dipòsits	50.000	€
Vàlvules i Bombes	45.000	€
Separador Sòlid-Líquid	41.000	€
Compostador	40.000	€
Lloguer de maquinària	37.000	€
Condicionament de canonades	35.000	€
<b>Total inversió</b>	<b>976.000</b>	<b>€</b>

A continuació, es representen en un gràfic circular la proporció sobre la inversió total que suposa cadascun dels conceptes.

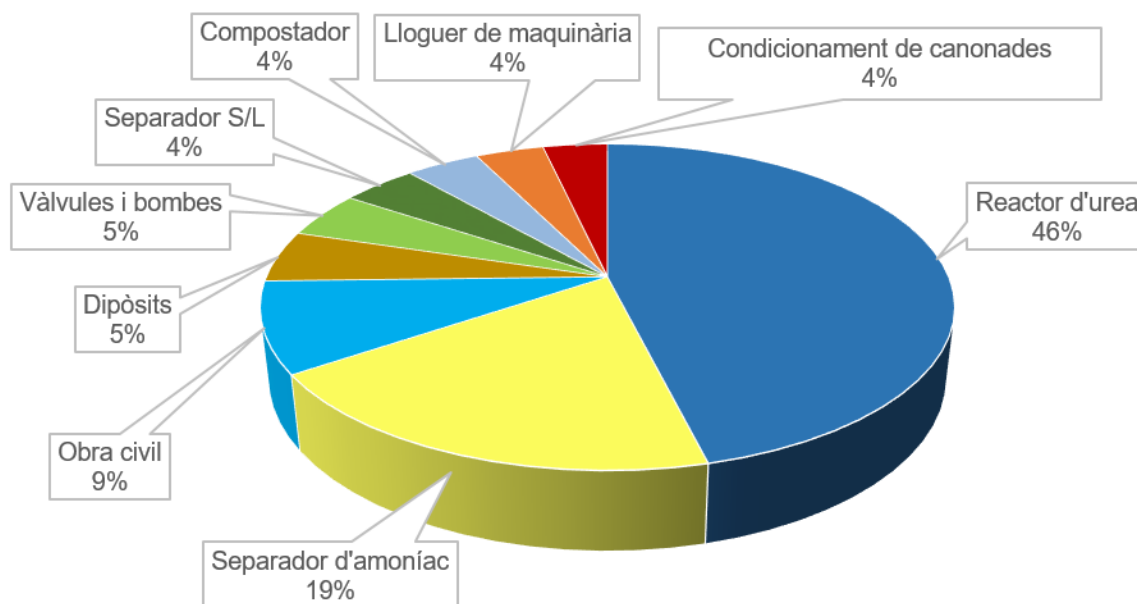


Figura 24. Gràfic comparatiu dels diferents costos d'inversió

Com es pot observar, gairebé la meitat de la inversió és el reactor de producció d'urea de 40 kg/h i el separador d'amoníac correspon al 20% del total de la instal·lació.

Pel que fa als costos afegits del nou equipament, s'ha realitzat un estudi de la despesa addicional de l'energia que consumeix la nova instal·lació. Pel que fa al separador S/L el consum d'energia és mínim, ja que el sedimentador treballa per gravetat i té un cost de 0,25

€/tona o de 0,2 €/m<sup>3</sup>, que suposa un cost de 7.200 € anuals. En canvi el cost del separador i el reactor d'urea sí que suposen una gran despesa en el consum d'energia. El cost de separar l'amoníac és de 15 c€ per quilogram d'NH<sub>3</sub> extret, mentre que el del reactor d'urea és de 0,25 c€ per quilogram. Considerant les 201,6 tones i les 320,72 tones d'amoníac i urea respectivament, el procés d'extracció i obtenció d'aquest productes és de 110.240 €/any, més els 7.200 euros del sedimentador, sumen en total una despesa en energia elèctrica de 117.620 €/any.

Per poder mantenir la nova infraestructura de la planta, serà necessari contractar una persona dedicada exclusivament a la conservació de les instal·lacions i que estigui qualificada amb suficients coneixements per realitzar el treball. El cost d'aquesta persona serà de 40.000 € anuals i el cost afegit de manteniment i/o conservació de la maquinària de 25.000 €

L'estudi econòmic considera un horitzó de cinc anys i un interès del 6% anual, com es mostra a continuació:

Taula 8. Flux de tresoreria de la inversió i estimadors econòmics

	0	1	2	3	4	5
Ingressos		604.273	604.273	604.273	604.273	604.273
Costs						
Inversió inicial	976.000					
Cost personal		40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
Manteniment		25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Energia Elèctrica		117.620	117.620	117.620	117.620	117.620
EBITDA	-976.000	421.653	421.653	421.653	421.653	421.653
Flux Tres. Actualitzat	-976.000	397.786	375.269	354.028	333.988	315.083
Flux Tres. Acumulat	-976.000	-554.347	-132.695	288.958	710.611	1.132.264

TIR	32,71%
VAN	800.155 €
Payback	2 anys i 4 mesos

Tant el VAN com el TIR són valors favorables (tassa d'interès europea és del 5%). Per poder realitzar aquesta inversió, tenint en compte la inversió inicial així com els costs dels anys fins recuperar la inversió al cap de 28 mesos, seria necessari un finançament d'1 milió

d'euros, determinat a partir de la dimensió del projecte. Al cap dels 5 anys d'estudi, el benefici que obtindria cada planta de biogàs seria de 1,13 milions d'euros, considerant únicament els nous ingressos de la instal·lació, sense tenir en compte el benefici afegits degut a que deixarien de contaminar el medi ambient i es podrien permetre un increment dels caps de bestiar.

Un altre aspecte mencionat amb anterioritat és la possibilitat de produir la urea en una planta situada en una posició estratègica si el cost de fabricació era molt elevat. Observant l'estudi econòmic, cada planta de biogàs podrà instal·lar el reactor d'urea en la seva pròpia planta ja que la quantitat a produir no és elevada.

## 6.4. Cost de preparació del projecte

El cost de preparació del projecte engloba tot el temps dedicat pel futur enginyer, el cost de transport i el cost de supervisió del director del projecte. Aquest càlcul té en compte totes les hores dedicades al desenvolupament del projecte i les hores dedicades a la redacció de la memòria del treball, considerant el sou de 15 €/h d'un jove enginyer, 30 €/h d'un enginyer experimentat i un consum de 10 € cada 100 km recorreguts.

Taula 9. Cost de preparació del projecte

Concepte	Preu	Cost
Desenvolupament i redacció del treball (300 h)	15 €/h	4.500 €
Supervisió del director (40 h)	30 €/h	1.200 €
Transport a les diferents plantes (1.500 km)	0,1 €/km	150 €
	<b>Total</b>	<b>5.850 €</b>

## 7. Estudi de mercat dels productes

D'acord amb la publicació de 2012 de la Comissió Europea (European Commission, 2012), la producció de carn en els països de la Unió es preveu que arribarà a casi 45 milions de tones al 2022. El consum de carn de la UE en 2022 es preveu de 82,6 kg per persona, sent la carn de porc la preferida pels europeus (40,8 kg / persona), seguida de la d'au (24,1 kg / persona) i la de vedella (15,7 kg / persona).

Respecte a la carn de porc, després de la seva caiguda en el anys 2012 i 2013, s'espera que en el 2022 la producció sigui de 23 milions de tones. Pel conjunt de la Unió Europea el consum de carn preveu que augmenti un 4,3%, tot i que el consum per càpita de la carn de porc es veuria reduïda en un 1,6%, però seguirà representant la meitat del consum total de carn en la UE.

Els problemes actuals pel creixement i producció de porcs i vaques dins de la Unió ve donat per quatre característiques:

- 1.- La progressiva reducció de la cabanya porcina d'alguns països com Holanda i Dinamarca degut al compliment de la normativa de sostres admissibles de la UE referent a la gestió i manipulació de purins.
- 2.- Controls més exhaustius d'aportacions minerals i amoniacals a l'ambient, al mateix temps que es pretén reduir en un terç el volum de la cabanya en aquests països.
- 3.- Els dos punts anteriors han generat el trasllat de les explotacions ramaderes on la normativa ambiental no és tan estricta, com Polònia, Hongria, Espanya i l'est d'Alemanya.
- 4.- Aquest desplaçament ha provocat que Espanya i Alemanya s'hagin convertit en els líders de la producció de carn de porc, però aquest fet està passant una greu factura al medi ambient d'aquests països.

Pels motius exposats anteriorment, es pot observar que el mercat dels productes obtinguts a partir dels purins tindran un gran recorregut comercial i una gran possibilitat de negoci. Existirà la necessitat de tractar els purins de qualsevol tipus d'animals, degut a que els nivells de contaminació que hi ha actualment no podran ser superats en un futur.

## 7.1. Mercat de l'AdBlue®

En el món existeixen diverses normatives que regulen les emissions de NOx, i que requereixen l'ús d'AdBlue® juntament amb la tecnologia SCR o DEF. Els quatre components contaminants principals que avarca la legislació sobre les emissions de vehicles són els òxids de nitrogen (NOx), les partícules (PM), el monòxid de carboni (CO) i els hidrocarburs (HC).

A Europa, la primera normativa Euro 0 va entrar en vigor el 1990 amb uns límits d'emissions de 14,4 g/kWh de NOx i 1,1 g/kWh de PM. L'ús d'AdBlue® va entrar en vigor amb la normativa Euro IV, V i VI. L'última normativa implementada va ser la Euro VI i va fixar el límit de NOx en 0,4 g/kWh. Per cotxes i furgonetes va entrar en vigor amb dos fases. La primera va ser la fase d'homologació, des de l'1 de setembre de 2014 tots els cotxes nous que siguin homologats per vendre a Europa, hauran de complir aquesta norma. Mentre que la segona fase va ser implementada l'1 de setembre de 2015 i obliga que a partir de la data, tots els cotxes i furgonetes noves que siguin venuts o matriculats a Europa hauran de complir la Normativa.

A Estats Units, les emissions dels vehicles estan regulades per la *Clean Air Act*. L'ús de la urea en la tecnologia SCR o DEF per control de les emissions de gasos va arribar amb la denominada normativa US2010, que va entrar en vigor l'1 de gener de 2010, fixant el límit d'emissions en 0,3 g/kWh, sent més estrictes que la normativa Euro V d'Europa.

A Austràlia i Nova Zelanda, les normatives sobre emissions són sempre posteriors en uns anys a les normatives vigents en Europa. La Euro IV va ser introduïda al 2007 i al 2010 va ser implementada la Euro V.

A la Xina, la legislació rep el nom de Normativa Nacional IV i V. Des de 2008, la Normativa Nacional VI per vehicles pesats va reduir els límits de NOx fins a 3,5 g/kWh i les PM fins 0,02 g/kWh.

Al Brasil, la legislació es denomina PROCONVE (*Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores*) que va ser aplicada a partir del 2012. L'AUS32, es coneix en aquest país com ARLA 32 (Agent Reductor Líquid per l'Automoció).

El mercat de l'AdBlue® és un mercat amb un futur assegurat amb un ampli ventall de negoci, no només en els automòbils d'ús diari, si no també en maquinària de tipus mòbil i fixa. Per

tant obre les portes al mercat de maquinària industrial. Aquest producte té un horitzó molt ampli, degut a les imposicions de les Normatives mundials. Es preveu que sigui utilitzat fins que el cotxe elèctric arribi a tota la població del món.

## **7.2. Mercat del fertilitzant**

El 91% de la urea produïda actualment s'utilitza per fertilitzants, per tant l'objecte d'estudi també serà el mercat dels fertilitzants. Pel que fa al sector agrícola, la forta demanda de productes nitrogenats va comportar un increment del 2% de la producció mundial d'amoníac i urea l'any 2014. La capacitat mundial de producció d'urea va ser al voltant d'unes 208 milions de tones (IFA, 2014) i un increment massiu de 20 milions de tones al 2015 (IFA, 2015). Aquesta important demanda suposa l'accés a un gran mercat i, el fet que a més prové d'una urea de base orgànica, també pot despertar interès en el sector agrícola en tractar-se d'un producte bio.



## 8. Impacte del projecte en la innovació i el creixement

Els reptes estratègics del projecte són la obtenció de AdBlue® orgànic per al sector de l'automoció i l'obtenció d'urea de base orgànica per al sector agrícola. Es preveu un alt impacte en la innovació tecnològica donat que actualment la urea s'obté per síntesis química a partir d'amoníac i diòxid de carboni d'origen animal.

A diferència de la síntesis química d'urea a partir de l'amoni, la innovació del projecte radica en la síntesis d'urea a partir de l'aprofitament de l'amoníac romanent en la part líquida del digestat resultant del tractament anaeròbic de purins i altres biomasses juntament amb el CO<sub>2</sub> generat en el procés de combustió.

Els nous productes generats i els seus corresponents sectors d'aplicació seran els següents:

- 1.- AdBlue® orgànic pel sector de l'automoció.
- 2.- Urea de base orgànica pel sector agrícola.
- 3.- Compost amb el nivell d'amoníac adequat pel sector agrícola i ramader.
- 4.- Aigua per regar pel sector agrícola i ramader.

En definitiva, la urea del projecte s'obtindrà a partir de la valorització de recursos naturals, urea orgànica de biomassa. El projecte suposa un gran repte en la gestió de residus, en concret utilització dels purins i altres fonts de biomassa d'origen animal i vegetal com a matèria prima per a l'obtenció de CO<sub>2</sub> i NH<sub>3</sub> per a l'obtenció final d'urea, que a més a més permetrà també donar una sortida a les plantes de tractaments de purins.

El fet de generar urea orgànica a partir de recursos naturals, suposarà la generació d'una nova activitat a Catalunya d'alt valor afegit: producció d'urea orgànica a nivell local. A més, la facilitarà la gestió dels purins i les plantes que avui en dia no eren rendibles, aplicant aquesta nova tecnologia, ho tornaran a ser.

## Conclusions

L'objectiu principal del projecte era aconseguir una tecnologia innovadora que permetés extreure urea a partir del purins mitjançant una reenginyeria de les plantes de biogàs actuals. Aquest objectiu s'ha complert, obtenint a més una valoració positiva en l'estudi econòmic, que farà possible que les plantes que van haver de tancar per les retallades en la subvenció per cogeneració puguin tornar a ser rendibles obtenint més beneficis dels que generaven anteriorment i, recuperant la majoria dels 4.500 llocs de treball directes i indirectes que van ser destruïts per la decisió del Govern.

Segons l'estudi realitzat en una planta que tracta 100 m<sup>3</sup> de purins diàriament, es pot comprovar l'increment en un 235% dels ingressos a partir de la venda dels nous productes. Amb una inversió d'1 milió d'euros, podran realitzar una remodelació de la seva planta i obtenir urea, compost lliure d'amoniac i aigua amb els nivells amoniacals adequats per poder regar els camps dels voltants de la planta. En només dos anys i mig la inversió de la instal·lació serà rendibilitzada, i a partir d'aquest moment, tot seran beneficis, sense tenir en compte que quan aquestes plantes deixin de contaminar podran incrementar el seu bestiar i obtenir encara més beneficis de la seva principal activitat, que és la cria de bestiar. Cal mencionar el gran cost que el Govern ha de pagar per culpa de l'emissió de tots aquests contaminants podrien ser destinats a altres causes, si actualment existís una bona gestió del residu.

Un altre objectiu del projecte és reduir la dependència que avui es té dels hidrocarburs. El projecte proporciona una alternativa aprofitant el purí, gestió necessària per evitar la contaminació que el sector ramader i agrícola estan produint a dia d'avui, transformar-lo en una matèria prima per obtenir un producte amb un ampli mercat actualment i en el futur, com és el cas de l'AdBlue<sup>®</sup> o dels fertilitzants.

Un altre aspecte a considerar és el concepte d'economia del benestar, el BEN (Benestar Econòmic Net), una mesura ampliada del PIB, que no només contempla l'estat econòmic, sinó que també considera les activitats nocives com la contaminació, que empitjora els béns dels ciutadans. Amb aquest projecte s'intenta millorar la qualitat de vida de tota la població i del medi ambient i aposta per aprofitar una biomassa i transformar-la, a través d'un procés

industrial, en un producte necessari per evitar la contaminació dels gasos d'escapament dels motors de combustió dièsel.

Per concloure, aquest projecte aposta per un desenvolupament sostenible, una expressió que va ser formalitzada per primera vegada a finals del segle XX per la primera ministra noruega Gro Harlem Brundtland, fent èmfasis al compromís de que les generacions futures disposin dels mateixos recursos naturals i socials, de la mateixa qualitat de vida que es té actualment.

La contaminació que avui dia estan generant els sectors que envolten el purí és extremadament elevada, sobretot en la contaminació d'amoníac que està afectant als aqüífers i a l'atmosfera. Per tant, si es desitja que les generacions futures puguin gaudir de tot el que es té avui, s'haurà d'intentar buscar i trobar alternatives que permetin realitzar un desenvolupament sostenible, com és el cas d'aquest projecte.

## Agraïments

Vull agrair a l'empresa Mannol Lubricantes, S.L. per haver-me ofert poder realitzar el Treball de Fi de Grau a la seva empresa i en especial agraïment al Roberto Estéfano, el director del projecte a Mannol i propietari de la patent del projecte, per tot el suport i recolzament que he obtingut sempre per part seva durant tota la meva estància a l'empresa. Tots els seus coneixements, orientació, forma de treballar han sigut fonamentals per poder tirar el projecte endavant.

Donar les gràcies al professor Jordi Bou, el tutor del treball, pel seguiment del projecte i aportacions tècniques i científiques per poder-lo confeccionar, ajudant-me sempre en tot el que he necessitat.

També m'agradaria agrair el suport que he rebut de tota la meva família i de la meva parella, per tot el recolzament i els ànims que m'han donat per poder iniciar el grau, poder tirar-lo endavant i estar ja en la recta final d'aquest, pels seus ànims en els moments més difícils.

## Bibliografia

BERNAL, M.P. *Compost: Production, Use and Impact on Carbon and Nitrogen Cycles. Proceeding 631, International Fertiliser Society*. Nova York: 2008.

BONMATÍ, A., FLOTATS, X. *Air Stripping of ammonia from pig slurry: characterization and feasibility as a pre- or post- treatment to mesophilic anaerobic digestion. Waste Management 23 (2003) 261-272*, pp. 262-272. Catalunya: 2002.

BONMATI, A., FLOTATS, X. *Evaluación de sistemas de gestión de estiércol en Europa. LIFE+MANEV*, p. 73. Catalunya: 2015.

CAMPOS, E., FLOTATS, X., ILLA, J., MAGRÍ, A., PALATSI, J., SOLÉ, F. *Guia dels tractaments de les dejeccions ramaderes*, p. 40. Lleida: 2004.

CONSELL EUROPEU, *Directiva del Consejo, de 12 de junio de 1986, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura*. Europa: 1986.

CONSELL EUROPEU, *Directiva 91/676/CEE, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra contaminación por nitratos utilizados en la agricultura*. Europa: 1991.

CONSELL EUROPEU, *Directiva 96/61/CE, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación*. Europa: 1996.

CONSELL EUROPEU, *Directiva 98/58/CE del Consejo, de 20 de julio de 1998, relativa a la protección de los animales en las explotaciones ganaderas*. Europa: 1998.

CONSELL EUROPEU, *Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos*. Europa: 1999.

CRUZ, M., RIAÑO, B. *Evaluación de sistemas de gestión de estiércol en Europa. LIFE+MANEV*, p. 65. Castilla i Lleó: 2016.

ESTÉFANO, R. *Procedimiento para la producción de urea orgánica así como urea orgánica y AUS32 obtenidas por este procedimiento*. Barcelona: 2015.

EUROPEAN COMMISSION, *Prospect for Agricultural Markets and Income in the EU 2012-2022*, p. 5. Europa: 2012.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). *Air quality in Europe – 2015 report*, p. 19. Copenhagen: 2015.

EUROPEAN FERTILIZER MANUFACTURERS ASSOCIATION. *Production of urea and urea ammonium nitrate. Booklet No. 5 of 8*, p. 8. Bèlgica: 2000.

EUROPEAN STATISTICS. *Agriculture, forestry and fishery statistics. Agricultural production – Animals*, p. 92. Luxemburg: 2016.

GOBIERNO DE ESPAÑA, *Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico*. Espanya: 2013.

GOBIERNO DE ESPAÑA, *Real Decreto 324/2000, de 3 de marzo, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas*. Espanya: 2000.

HJORTH, M., CHRISTENSEN, K.V., CHRISTENSEN, M.L., SOMMER, S.G. *Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice*, pp. 153-180. Europa: 2010.

IFA (INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATIONS), *Short-Term Fertilizer Outlook 2014-2015*, p. 3. París: 2014.

IFA (INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATIONS), *Short-Term Fertilizer Outlook 2015-2016*, p. 4. París: 2015.

INSTITUT D'ESTADÍSTICA DE CATALUNYA. *Anuari estadístic de Catalunya – Agricultura, ramaderia i pesca*. Barcelona: 2000-2014. [<http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=452>, Febrer 2016].

LARNEY, F.J., HAO, X. *A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada*. Bioresource Technology. Canadà: 2007.

LAURENI, M., PALATSI, J., LLOVERA, M., BONMATI, A. *Influence of pig slurry characteristics on ammonia stripping efficiencies and quality of the recovered ammonium-sulfate solution*. J Chem Technol Biotechnol. Europa: 2014.

MAYNEGRE, J., NOGUERA, J., NOGUÉ, M. *Viabilitat de les explotacions de vaques de llet a Catalunya en una situació sense quotes a la producció – Document de treball núm. 4*, p. 9. Catalunya: 2015.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE, *Inventario de Emisiones de España. Emisiones de contaminantes atmosféricos. Serie 1990-2014 Informe resumen*. Madrid: 2016.

MOSCATELLI, G., FABBRI, C. *Strippaggio, tecnica efficiente per l'abbattimento dell'azoto. L'informe Agrario 18*, pp. 45-50. Itàlia: 2008.

PARLAMENT EUROPEU I EL CONSELL DE LA UNIÓ EUROPEA, *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas*. Europa: 2000.

PARLAMENT EUROPEU I EL CONSELL DE LA UNIÓ EUROPEA, *Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos*. Europa: 2001.

PARDO, J., PERDOMO, M., BENAVIDES, J. *Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo*. Colombia: 2004.

SÁNCHEZ, J. *Eliminación de metales pesados de efluentes líquidos por adsorción en materiales naturales residuales de bajo coste (Acícula de pino)*, p. 2. Murcia: 2011.

TEIRA, R. *Informe para la mejora de la gestión de los purines porcinos en Cataluña*, p. 6. Barcelona: 2008.

VAN HORN, H., WILKIE, A., POWERS, W., NORDSTED, A. *Component of dairy manure management systems*. Estats Units d'Amèrica: 1994.

ZUCCONI, F., DE BERTOLDI, M. *Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste*, pp. 30-50. Itàlia: 1987.